

PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA)

CATEGORÍA II

*INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE
ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE
INFORME DEL AÑO 2022*

Compromisos de EsIA Aplicables	Periodo reportado	Elaborado por	Fecha de Emisión del Reporte
13213	2022	BIODIVERSITY CONSULTANT GROUP	25/11/2022

Preparado por:



Junio 2022

INFORME DE MONITOREO DE ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE

Proyecto Mina de Cobre Panamá



Biodiversity Consultant Group (BCG)

Hato Pintado, Calle Sauce, Casa L13
Teléfono: 203-6384

Equipo Administrativo:

Msc, MBA. Samuel Valdés	Director -Ictiología y entomología
Msc. César Jaramillo	-Gerente
Msc. Marelys Torres	-Gerente de Proyectos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Logística
Téc. Juan Hernández	-Logística y Seguridad

Equipo de Especialistas:

MSc. César Jaramillo	-Herpetología
MSc. Marelys Torres	-Gestión Ambiental
Téc. Laurencio Martínez	-Botánica
Téc. Kathania Flores	-Botánica
Téc. Benjamín Walker	-Vida Silvestre y Mastozoología
Téc. Yaritza González	-Peces e Insectos Acuáticos
Lic. Juan Pablo Ríos	-Ornitología

Colaborador Externo:

MSc. Orlando O. Ortiz	-Botánico.
-----------------------	-------------------

Equipo Asesor de BCG:

Lic. Samuel Valdés	-Peces de agua dulce y Entomología
Lic. Alvin Zapata	-Botánica

2023 BCG Panamá

Contenido

<i>Resumen Ejecutivo</i>	5
<i>Introducción</i>	6
<i>Metodología</i>	8
<i>Área de Estudio y sitios de muestreo</i>	8
<i>Descripción de hábitat</i>	10
<i>Calidad de agua y sedimentos</i>	11
<i>Macroinvertebrados acuáticos</i>	11
<i>Índice BMWP/PAN</i>	12
<i>Muestreo de Arraigo</i>	15
<i>Análisis estadístico</i>	16
<i>Resultados y Discusión</i>	18
<i>Descripción de los tramos visitados</i>	18
<i>Índice de Hábitat Fluvial</i>	26
<i>Calidad de Agua</i>	28
<i>Metales en Agua</i>	32
<i>Metales en Sedimentos</i>	35
<i>Índice de Arraigo</i>	36
<i>Perifiton</i>	37
<i>Macroinvertebrados acuáticos</i>	42
<i>BMWP/PAN</i>	46
<i>Diversidad de peces</i>	48
<i>Metales en Músculo</i>	51
<i>Conclusiones</i>	53

Resumen Ejecutivo

Entre el 2 a 9 de junio de 2022 se desarrolló el monitoreo anual de hábitat acuáticos siguiendo los estándares de cumplimiento del EsIA Categoría III aprobado para el Proyecto Mina de Cobre Panamá. Así durante este periodo se tomaron muestras en ocho estaciones, seis ubicadas de manera cercana y lejana al efecto de la mina sobre las tres cuencas principales: Caimito, San Juan de Turbe y Petaquilla, y dos estaciones ubicadas en sistemas de referencia sin intervención del Proyecto Mina de Cobre Panamá, uno en Río Hoja y otro en Río Rinconcito. Los resultados indican que el índice de hábitat fluvial es generalmente bueno en todos los sitios, con valores dentro del rango de óptimo a subóptimo.

Los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican que el sitio PMC Botija obtuvo el mejor puntaje asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad estuvieron los sitios PML Petaquilla, PML Petaquilla, PMC Petaquilla, PML Botija y Ref. Rinconcito, no obstante, debido a que este índice valora las familias en función de su tolerancia a contaminación orgánica y fue diseñado para entornos con contaminación por aguas residuales con elevado contenido de materia orgánica, estos resultados deben observarse con cautela puesto que la variación en la composición de familias podría responder a otras causas en entornos naturales.

Aun así, la comparación de las medias del índice de calidad biológica BMWP-PAN mediante un análisis de ANOVA indica que a través del periodo de monitoreo (2016-2022) no existen diferencias estadísticamente significativas del índice entre los sitios muestreados, sin embargo, es posible identificar una tendencia incipiente de disminución del índice en los sitios PMC y PML Caimito.

La diversidad de peces, medida por el índice de Shannon parece estabilizarse, particularmente en el tramo PMC Botija que se ha recuperado respecto al año 2021, sin embargo, el tramo PMC Petaquilla presenta índices de diversidad inferiores a los resultados de años anteriores.

A pesar de las diferencias en la concentración de metales y parámetros físico-químicos presentes en las muestras de agua, no es posible establecer diferencias importantes en las comunidades de peces, macroinvertebrados y perifiton entre los tratamientos PMC y PML, pero sí entre estos y los sitios de referencia.

Los resultados de concentración de metales en tejido muscular en muestras de *Gobiomorus dormitor* son positivos para varios metales en la estación de referencia del río Hoja y para las estaciones PMC y PML de Caimito.

Introducción

La empresa Minera Panamá S.A.(MPSA) se encuentra en la etapa de operación del proyecto Mina de Cobre Panamá, ubicado en el Distrito Especial Omar Torrijos Herrera, provincia de Colón, en la región central de la vertiente Caribe de Panamá.

El Proyecto Mina de Cobre Panamá se ubica en una de las regiones del istmo con mayores precipitaciones anuales entre 3500 a 6000 mm anuales, caracterizada por cuencas cortas con cabeceras de relativa alta pendiente y suelos superficiales típicos de la selva pluvial hiper-húmeda. Por ello los arroyos que fluyen por su área de influencia presentan cambios abruptos en la carga de sólidos suspendidos, baja disponibilidad de nutrientes y aguas de escorrentía naturalmente ácidas generada por los ácidos húmicos resultantes de la descomposición de hojarasca.

Esto genera una condición ecohidrológica extrema y una biodiversidad acuática capaz de resistir estos estados permanentes de disturbio natural, a los que se suma los efectos históricos de la actividad humana de la región del Donoso, con una de las mayores tasas de deforestación de Panamá.

Esto implica que de manera natural y recurrente a los diferentes arroyos en monitoreo llegan por escorrentía sedimentos con carga naturales de metales dada su historia y condiciones geológicas particulares, que son la razón de ubicar en esta región una mina de cobre.

En este escenario se desarrollan las actividades propias de la extracción y aprovechamiento de minerales del Proyecto Mina de Cobre Panamá, como la apertura de tajos y la acumulación de material estéril en botaderos cuyos efectos potenciales sobre los ecosistemas acuáticos son mitigadas en una alta proporción, siendo sin embargo posibles efectos no manejables durante eventos atmosféricos extremos.

En tal sentido se formuló el Plan de Monitoreo de Ecosistemas de Agua Dulce que se encuentra en ejecución desde el año 2012 bajo el marco conceptual de un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en ingles), dirigido a asegurar que los controles ambientales implementados sobre los cuerpos de agua existentes alrededor de la mina sean efectivos en la mitigación de los impactos generados.

El periodo de muestreo comprende las fechas del 2 al 9 de junio del año 2022 para los ocho sitios en donde se establecieron tramos de muestreo. Los resultados obtenidos de este muestreo se han comparado con los obtenidos en las campañas de muestreo efectuadas en los años 2015 al 2021. Este informe presenta la metodología de trabajo, resultados, interpretación y conclusiones.

Los resultados muestran que las cuencas bajo influencia del Proyecto Mina de Cobre Panamá mantienen la integridad de sus hábitats, con una biodiversidad

acuática y en particular la ictiofauna escasa y poco diversa dada la pobreza natural de sus aguas. Los metales medidos en la especie *G. dormitor* son similarmente altos en estaciones con y sin efecto del Proyecto Mina de Cobre Panamá, lo que parece confirmar una natural alta biodisponibilidad de metales en la región.

La calidad del agua y sedimentos es similar entre las estaciones de referencia y sistemas con influencia del Proyecto Cobre Panama.

Metodología

Área de Estudio y sitios de muestreo

El programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés), fue diseñado para monitorear los efectos de la operación minera sobre las cuencas hidrográficas que rodean al proyecto. Esto incluye las tres cuencas de los ríos Petaquilla, Caimito y San Juan de Turbe (Río Botija).

Los Puntos de Muestreo Cercano (**PMC**), son los puntos de muestreo que están ubicados tan cerca como sea posible de la operación, pero aguas abajo de una hipotética zona de mezcla. Los Puntos de Muestreo Lejano (**PML**), son los sitios de muestreo alejados de la zona de mezcla, en donde se supone ha ocurrido una dilución importante de las descargas.

Los puntos PMC, PML y las Áreas de Referencia (**Ref.**) fueron determinados en la línea base (2012) dentro de las tres cuencas principales que potencialmente están bajo la influencia de la operación del Proyecto Mina de Cobre Panamá, en la figura 1 se observa los sitios donde fueron establecidos los puntos de monitoreo y en la Tabla N°1 se presentan las coordenadas de cada uno.

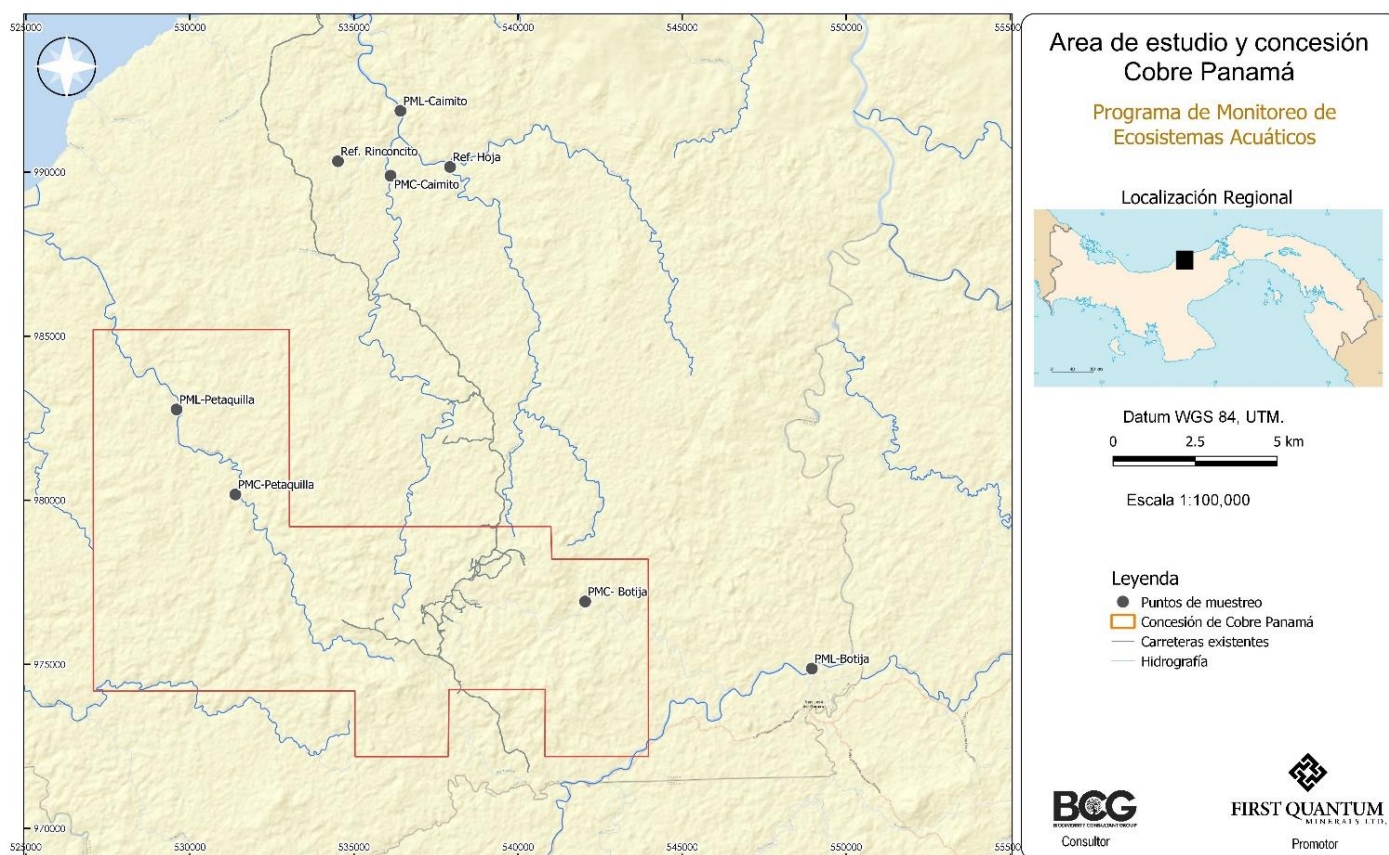


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo

Tabla 1. Nombre y coordenadas de los sitios muestreados

CÓDIGO SITIO MONITOREO	RÍO	TIPO DE PUNTO	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
			ESTE	NORTE	
REF-Hoja	Río Hoja	Referencia	537121	990012	Ubicado sobre el brazo principal
REF-Rinconcito	Río Rinconcito	Referencia	535002	989768	Ubicado sobre un pequeño tributario.
PMC-Caimito	Ríos Del Medio y Caimito	Punto de Muestreo Cercano	536373	988352	Sobre río Del Medio o Uvero, aguas abajo de la descarga de los relaves.
PML-Caimito		Punto de Muestreo Lejano	536244	991898	Ubicado sobre el cauce del río Caimito.
PMC-Botija	Ríos Botija y San Juan	Punto de Muestreo Cercano	541972	976567	Sobre el río Botija, aguas abajo del tajo, en San Benito.
PML-Botija		Punto de Muestreo Lejano	549121	974840	Sobre el río San Juan de Turbe, más alejado del tajo.
PMC-Petaquilla	Río Petaquilla	Punto de Muestreo Cercano	531420	980178	Sobre el cauce del río Petaquilla, en campamento Lata, aguas abajo de los tajos Colina y Valle grande.
PML-Petaquilla		Punto de Muestreo Lejano	529595	982766	Ubicado aguas abajo en el río Petaquilla, próximo a un potrero.

Se muestrearon en total ocho (8) tramos y en cada uno se estimó el índice de hábitat fluvial según Cornejo (2019)¹, se tomaron datos de calidad de agua y sedimentos, además se colectaron peces, macroinvertebrados y perifiton con las metodologías que se describen a continuación.

1 Cornejo A, López-López E, Ruiz-Picos RA, Sedeño-Díaz JE, Armitage B, Arefina T, et al. Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Panamá: Ministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Panamá; 2017.

Descripción de hábitat

Los tramos muestreados se describieron aplicando el Protocolo 3 “Caracterización de Hábitat” (Cornejo 2019). La evaluación de hábitat incluye 10 parámetros que se valoran numéricamente del 1 al 20 en orden ascendente de calidad, siendo el valor 0 la condición pobre o menos deseable y el valor 20 la condición óptima. La suma de los valores da como resultado un Índice de Calidad de Hábitat Fluvial.

Tabla 2. *Parametros y escalas de valoración del Índice de Calidad de Hábitat*

Parámetro	Escala
Heterogeneidad y estabilidad del sustrato disponible	0-20
Empotramiento del sustrato	0-20
Relación Profundidad y Velocidad	0-20
Deposición de sedimentos	0-20
Estado del Flujo del Cauce	0-20
Alteración del Cauce	0-20
Frecuencia de Rápidos	0-20
Estabilidad de la Ribera Izquierda	0-10
Estabilidad de la Ribera Derecha	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Izquierda	0-10
Vegetación Protectora de la Ribera Derecha	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Izquierda	0-10
Amplitud de la Vegetación Ribereña Derecha	0-10
Valor Mínimo del Índice	0
Valor Máximo del Índice	200

La evaluación del hábitat se define como la evaluación de la estructura física circundante que influye en la calidad del recurso hídrico y en la condición de la comunidad acuática residente (Barbour et al., 1996). El método de evaluación de la calidad del hábitat utilizado, se basa en los Protocolos de Bioevaluación Rápida (Barbour et al., 1999), de la USEPA y categoriza los hábitats como óptimos, subóptimos, marginales y pobres según la siguiente puntuación.

Tabla 3. *Rango de valores y categorías del calidad de hábitat.*

Calidad de Hábitat	Rango
Óptimo	166-200
Subóptimo	113-165
Marginal	60-112
Pobre	0-59

Calidad de agua y sedimentos

Los datos de conductividad, potencial de Hidrógeno (pH), temperatura y oxígeno disuelto fueron medidos en campo con un Multiparámetro marca HANNA modelo HI98194, sumergiendo la sonda hasta una profundidad de 30 cm siempre dentro de una zona de mezcla. La sonda fue calibrada diariamente con el uso de soluciones estándar de pH 4.01, pH 7.00 y conductividad de 754 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Se colectaron muestras de agua para análisis fisicoquímico de agua y sedimentos las cuales fueron fijadas y preservadas siguiendo los métodos descritos en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA 2017). Los análisis se realizaron en el laboratorio de ALS en Peru para los siguientes parámetros y metales:

Tabla 4. Parámetros de calidad de agua y sedimentos

Calidad de Agua	Calidad de Sedimentos
Sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno en cinco días (DBO_5), dureza, alcalinidad, amoníaco, nitrato, nitrógeno total de Kjeldahl (NKT), total de fósforo, carbono orgánico disuelto y total, polifenoles <u>Iones</u> : cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, nitritos, amonio, bromuro, fluoruros. <u>Metales</u> : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, and Zn.	<u>Metales</u> : Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se y Zn,

Macroinvertebrados acuáticos

En cada estación de muestreo se establecieron tramos de 100 metros en donde se identificaron cinco hábitats fluviales y se colectaron dos submuestras por hábitat con el uso de un muestreador tipo Hess con malla de 500 μm .

Las muestras se tomaron agitando el sustrato dentro de la trampa a una profundidad aproximada de 10 cm durante 5 minutos. Posteriormente cada muestra se colocó en un envase de 500 ml y se preservó en etanol al 70%.

Las muestras fueron trasladadas hasta el laboratorio de BCG, donde fueron limpiadas, separadas e identificadas hasta nivel de género utilizando las claves de Springer *et al* (2010), Merritt *et al* (2019) y Hamada (2018). El equipo óptico utilizado fue un estereoscopio Olympus SZX10 y un microscopio Olympus CX43 ambos con cámaras incorporadas.

Posterior a la identificación se estimaron los principales descriptores de la comunidad de macroinvertebrados y los siguientes índices de diversidad a nivel de género.

- Densidad total de invertebrados
- Riqueza de los principales grupos taxonómicos
- Riqueza de géneros
- Indices Biological Monitoring Working Party (BMWP-PAN)

Índice BMWP/PAN

El efecto de la calidad del agua sobre los macroinvertebrados acuáticos ha sido generalmente evaluado con índices como el desarrollado por el Biological Monitoring Working Party (BMWP)², en cual se basa en la sensibilidad o tolerancia de diferentes familias de macroinvertebrados a la contaminación orgánica del agua. El índice BMWP ha sido ampliamente utilizado en la región tropical, con adaptaciones a las diferentes faunas locales, incluyendo a Panamá (BMWP/PAN)³

El valor del índice BMWP/PAN se obtiene sumando el valor de intolerancia a elevados contenidos de materia orgánica de todas las familias colectadas en una estación del muestreo, independientemente de la abundancia. Luego del cálculo del BMWP/PAN se clasifica la calidad biológica del agua en una escala de 0 a 150 en las seis categorías que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Escala de calidad biológica del agua BMWP

Calidad del Agua	Valor	Color
Excelente	>150	
Buena	78-149	
Regular	59-77	
Contaminada	39-58	
Muy contaminada	20-38	
Extremadamente contaminada	< 19	

² Hawkes HA. Origin and development of the Biological Monitoring Working Party score system. Water Res. 1998; 32:964–8.

³ Cornejo A, López-López E, Ruiz-Picos RA, Sedeño-Díaz JE, Armitage B, Arefina T, et al. Diagnóstico de la condición ambiental de los afluentes superficiales de Panamá. Panamá: Ministerio de Ambiente, Gobierno de la República de Panamá; 2017.

Peces

En cada estación se muestrearon todos los hábitats disponibles haciendo uso de diferentes artes de pesca, siendo el método principal la electropesca estandarizada con GPS incorporado modelo APEX usada a una profundidad promedio de 30 cm.

La configuración del equipo en condiciones de baja conductividad fue la siguiente: 500V, 30 Hz con un ciclo de 45% y en condiciones de conductividad media: 200V, 60Hz y ciclo de 30%.

Adicionalmente se usó chinchorro en pozas y orillas y red manual en zonas con vegetación riparia emergente o pozas pequeñas (**Figura 2**). En los resultados se incluye el reporte visual de peces no capturados identificados al mínimo nivel taxonómico posible.

El muestreo se ejecutó durante un periodo de una hora en cada sitio. Las muestras fueron fotografiadas vivas, utilizando una Cámara Canon 7D Mark II equipada con lente macro de 60 mm y flash Canon MT-24EX Macro, los especímenes fueron anestesiados con benzocaína (MS-222) y colocados en un acuario de sección triangular dentro de un miniestudio con iluminación LED. Los ejemplares que se sacrificaron luego fueron fijados con formalina al 10% amortiguada con borato de sodio. Finalmente, las muestras fueron lavadas, identificadas, contadas, medidas, pesadas y preservadas en alcohol 70%.

Las medidas se efectuaron con el uso de un vernier digital con resolución de 0.01 mm y pesadas con una balanza Ohaus con resolución de 0.01 gramo.

Análisis de metales en peces

En cada tramo se tomaron muestras compuestas de tejido muscular de la especie *Gobiomorus dormitor*. Estas muestras fueron rotuladas y preservadas en nitrógeno líquido hasta su entrega al laboratorio Envirolab para determinar la concentración de los siguientes metales: Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, Sr, Tl, V



Figura 2. Técnicas de muestreo de peces (A) Lance de atarraya, (B) uso de red de mano, (C) uso de electropesca

Perifiton

En cada uno de los puntos de muestreo y sobre un tramo de río de aproximadamente 100 m se realizaron 3 raspados de perifiton con un cepillo dental utilizando un cuadrante de acetato de 10 cm² para obtener un área removida total por estación de muestreo de 30 cm². Posteriormente, el material acumulado se disolvió en un frasco de plástico color ámbar (volumen aproximado de 130 ml) debidamente rotulado. Las muestras se preservaron con Lugol al 10% (hasta 10

gotas) y solución Transeau. Después fueron almacenadas en una nevera para su posterior traslado al laboratorio, determinación y cuantificación.

Para la observación de las algas perifíticas se utilizó un microscopio invertido Motic AE-31, en el cual se realizó el montaje de la muestra utilizando una cámara de conteo Sedgewick-Rafter de 1 ml de capacidad para efectuar los análisis cuantitativos (Wetzel,1983)

Se realizó un barrido general de la cámara de conteo con la finalidad de tener una idea de la riqueza y abundancia de la muestra. De acuerdo con los resultados se definió el volumen de muestra a examinar en la cámara de conteo, estandarizando el volumen para cada una de las muestras mediante una curva de acumulación de especies, hasta el volumen en el cual dicha curva alcanzó un valor asintótico o cuando no se registraron nuevos taxones.

La determinación taxonómica se realizó hasta el nivel de género o morfoespecie. La identificación estuvo apoyada en claves taxonómicas de (Branco,1984), (Bicudo & Menezes, 2006), y la guía de Roldan (1992). Los resultados se reportaron en individuos/cm².

la información taxonómica estuvo basada en la base de datos <https://www.algaebase.org/>

Muestreo de Arraigo

En campo se tomó muestras de sedimento con un tubo de sección circular con superficie de 78.5 cm² insertado en el sedimento hasta una profundidad de 10 cm para coleccionar un aproximado de 758 cm³ de sustrato.

El sustrato fue secado hasta lograr humedad constante inferior al 20%, luego cernido a través de una batería de tamices con la siguiente progresión geométrica: 8 mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.125 mm, 0.075 mm y 0.063 mm. Las fracciones correspondientes a cada tamaño de partícula fueron pesadas hasta 0.01 gramo y tabuladas para obtener la gráfica de distribución del tamaño de grano para cada tramo.

Para el análisis de las fracciones se adoptó la escala Wentworth⁴ de tamaño de partículas, que define una serie de clases en intervalos que incrementan a una potencia de dos (x^2), el porcentaje de arraigo se expresa como el porcentaje de la

⁴ Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30, 377–392.

muestra que corresponde a sedimento fino inferior a 0.5 mm (500 micras de diámetro).

Se preparó una gráfica de barras con las proporciones acumuladas de sedimento según la granulometría como aproximación al nivel de arraigo, interpretando que una mayor proporción de sedimentos finos de diámetro inferior a 0.250 mm corresponde a un mayor arraigo.

Tabla 6. Escala de tamaño de partícula de sedimentos.

Escala de tamaño de partículas de sedimento de Wentworth	
Categoría de tamaño	Diámetro de la partícula (mm)
Canto rodado	
Grande	128-256
Pequeño	64-128
Grava	
Muy gruesa	32-64
Gruesa	16-32
Media	8-16
Fina	4-8
Muy fina	2-4
Arena	
Muy gruesa	1-2
Gruesa	0.5-1
Media	0.25-0.5
Fina	0.125-0.25
Muy fina	0.0625-0.125
Limo	<0.0625

Análisis estadístico

Los datos de diversidad y abundancia por sitio fueron procesados con el software PAST versión 3.26 para la estimación de los índices de diversidad alfa y beta. Mediante análisis multivariado de agrupación se elaboró un árbol de agrupamiento por similitud para las comunidades de peces con el índice Bray Curtis aplicando el método de agrupación jerárquica UPGMA.

Haciendo uso del Software R, se generaron modelos explicativos mediante el uso del Modelo Lineal Generalizado (GLM), para estos modelos se utilizaron como variables de respuesta los índices de diversidad de macroinvertebrados, perifiton y peces y como variables independientes los índices de arraigo e índice de hábitat fluvial.

Tabla 7. Índices de diversidad calculados y su interpretación.

Categoría	Nombre del Indicador	Descripción
Riqueza Específica	Taxa_S	Cantidad de especies distintas por grupo taxonómico.
Abundancia	Individuals	Cantidad de individuos registrados para cada grupo taxonómico.
Dominancia	Dominance_D	Los índices basados en la dominancia son parámetros inversos al concepto de uniformidad o equidad de la comunidad.
Índice de Dominancia	Simpson_1-D	Usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa.
Índice de Equidad	Shannon (H')	Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a cual especie pertenecerá un individuo escogido al azar.
Índice de Diversidad	Evenness	(E)expresa equitatividad en el reparto de los recursos, es decir la uniformidad en la importancia relativa de las distintas especies que habitan un sitio.
Índice de Equidad	Brillouin	Índice utilizado cuando la aleatoriedad de la muestra no puede garantizarse.
Riqueza Específica	Margalef	Transforma el número de especie por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra.
Riqueza Específica	Menhinick	Relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra.
Índice de Equitabilidad	Equitability_J	El índice J de equitabilidad comprara el índice de Shannon H contra la distribución de individuos entre de la especies observadas.
Índice de Diversidad	Fisher_alpha	Este índice valúa eficazmente la diversidad en función del número de individuos y del número de especies.
Índice de Dominancia	Berger-Parker	Este índice intrínseco simple expresa la importancia proporcional de la mayoría de las especies abundantes
Estimador de Diversidad	Chao-1	Es un estimador no paramétrico del número de especies en una comunidad basado en el el número de especies raras en la muestra

Finalmente, mediante el uso de análisis multivariado de ordenación se ejecutaron análisis de componente principal (PCA) para identificar las variables que determinan las diferencias entre sitios en función de parámetros químicos y biológicos.

Finalmente, toda la información de los diferentes grupos taxonómicos fue analizada mediante el método de Escalamiento No Metrico Multidimensional NMDS para identificar diferencias entre las comunidades bióticas en cada sitio.

Resultados y Discusión

Descripción de los tramos visitados

Punto de Monitoreo Cercano de Rio Caimito.



Figura 3. Vista de PMC Caimito

Las coordenadas de este punto son UTM WGS 84, Lat. 536315 Lon. 989888. Se accede mediante helicóptero, aterrizando en el punto denominado “Los Bajos” que se encuentra a orillas del Rio del Medio en su parte baja.

La cobertura boscosa de las márgenes está afectada por la existencia de un potrero en su margen oeste y asentamientos humanos en el margen oriental.

Punto de Monitoreo Lejano de Río Caimito.



Figura 4. Vista de PML Caimito

El tramo PML Caimito se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 536315 Lon. 992127. Se accedió mediante transporte en bote, navegando en dirección sur desde el embarcadero ubicado en el margen oeste del río Caimito frente a la comunidad del mismo nombre.

Durante el periodo de muestreo el río presentó evidencias de una reciente crecida, más sus aguas se mantuvieron estables durante la jornada. El tramo abarca rápidos y pozas profundas con fuertes corrientes.

La vegetación riparia se encuentra en estado de madurez, con árboles de entre 15 a 25 metros de altura y sin evidencia de alteraciones por actividades antrópicas.

Punto de Monitoreo Cercano de Río Petaquilla



Figura 5. Vista de PMC Petaquilla

Las coordenadas del tramo PMC Petaquilla son UTM WGS 84 Lat. 531491 Lon. 980794, y se accede por helicóptero aterrizando en el helipuerto del antiguo campamento Lata.

El área se encuentra bajo la influencia de la actividad minera ilegal y aguas abajo de la mina abandonada de Petaquilla. Las márgenes del río en este tramo se encuentran alteradas por la habilitación de potreros y trabajaderos, sin embargo, la tala aún no llega a las orillas del río, conservando algunos metros de cobertura boscosa riparia.

En este tramo las aguas fluyen a una velocidad moderada y son navegables en canoas de bajo calado. El lecho es principalmente rocoso y con pozas profundas.

Punto de Monitoreo Lejano de Río Petaquilla



Figura 6. Vista de PML Petaquilla.

El tramo PML Petaquilla se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 529487 Lon. 983232, sus orillas se encuentran fuertemente intervenidas por actividades de agricultura, ganadería y extracción ilegal de oro. Se accede por helicóptero y se aterriza en un potrero cercano a la comunidad de Nueva Lucha ubicada a aproximadamente 500 metros en línea recta del tramo muestreado. El sitio se corresponde con los eventos de muestreo anteriores y los presentados como parte de los alcances.

Este tramo transcurre en un ancho de aproximadamente 40 metros, con aguas de flujo lento y de poca profundidad (< 2.00 metros), con presencia de islas de material arrastrado por la corriente.

Punto de Monitoreo Cercano de Río Botija



Figura 7. Vista de PMC Botija

El tramo PMC-Botija se ubica en la comunidad de San Benito, localizada a menos de un kilómetro desde la carretera. Las coordenadas del sitio son UTM WGS 84 Lat. 541991 Lon. 976801. Las márgenes del río Botija en este tramo están fuertemente afectadas por las actividades antrópicas, particularmente por la presencia de potreros y residencias. Aunque las márgenes se mantienen estables por la poca pendiente, la cobertura boscosa se extiende a pocos metros de la orilla. Las aguas son de velocidad moderada, poco profundas, con pozas que no exceden los 2 metros de profundidad.

Punto de Monitoreo Lejano de Río Botija



Figura 8. Vista de PML Botija

Las coordenadas del tramo PML Botija son UTM WGS 84 Lat. 549092 Lon. 975021. Al sitio se accede por una vía de acceso privada que atraviesa un potrero con cultivos de frutales. Las márgenes del río en este punto están alteradas por la habilitación de potreros, cultivos y residencias. Al momento del muestreo presentaba corrientes fuertes en los rápidos, producto de las lluvias recientes.

Hay presencia de islotes formados por la acumulación de rocas y sedimentos, lo que facilita el acceso a la zona de pozas y rápidos.

Sitio de Referencia del Río Rinconcito



Figura 9. Vista de Ref. Rinconcito.

El tramo Ref. Rinconcito fue localizado en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 534285 Lon. 990059, en la parte alta del río Río Rinconcito. El tramo presenta condiciones que se consideran como referencia por la ausencia de intervención en sus márgenes, vegetación riparia madura, baja conductividad eléctrica y está fuera de los efectos de la mina.

Se trata de un tramo de corriente lenta a moderada de orden 2, poco profundo y entre 2 a 6 metros de ancho. Lecho rocoso, con presencia de vegetación emergente y algunos troncos caídos. Pocas pozas, la mayor parte con profundidad entre 1.30 a 1.60 metros

Sitio de Referencia del Río Hoja



Figura 10. Vista de Ref. Hoja

El tramo Ref. Hoja se ubica en las coordenadas UTM WGS 84 Lat. 537031 Lon. 990422, sobre el río Hoja, afluente del río Caimito. Se accede por helicóptero, aterrizando en el helipad C28 en un potrero con una residencia a menos de 500 metros.

Este tramo del río Hoja presenta rápidos de corrientes fuertes, con un ancho estimado entre 30 a 50 metros, pozas profundas de más de 2 metros e islas con depósitos de material sedimentario. La margen este del tramo presenta alteraciones en su cobertura de bosque ripario, en tanto que el margen occidental presenta árboles de entre 20 a 30 metros de altura y poca evidencia de intervención humana.

Índice de Hábitat Fluvial

El Índice de Hábitat Fluvial (IHF) obtenido para los sitios muestreados se estimó en un rango de 117 y 189, correspondiente a calidad de hábitat óptimo para los sitios PML Caimito, PMC Petaquilla, PML Botija, Referencias de río Hoja y Rinconcito, mientras que presentaron valores en el rango de subóptimo los sitios PMC Caimito, PML Petaquilla y PMC Botija (Figura 11)

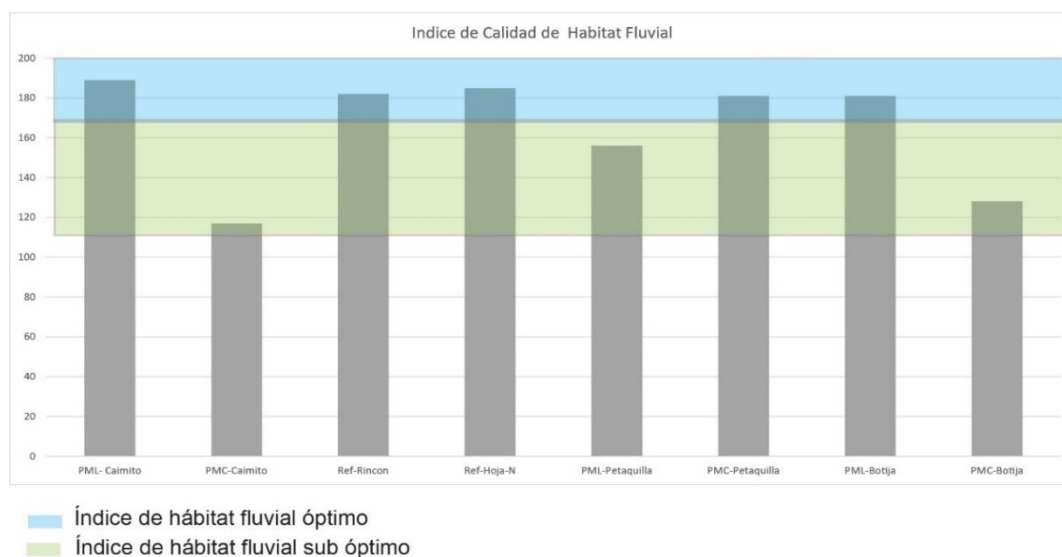


Figura 11. Gráfica del IHF indicando rangos de calidad por sitio

Desde la primera evaluación el índice de hábitat fluvial no ha variado debido a que este índice solo cambia ante fuertes intervenciones o alteraciones humanas o naturales en el cauce y márgenes del río y no se han detectado este tipo de alteraciones durante el periodo 2020-2022.

El tramo PMC Caimito presentó el índice más bajo, impactado principalmente la alteración de la amplitud de la vegetación ribereña en ambos márgenes y la pérdida parcial de vegetación protectora. Una condición similar fue registrada para los tramos PML Petaquilla y PMC Botija en donde, asentamientos humanos han eliminado parte de la cobertura vegetal riparia. En el tramo PML Petaquilla es evidente la extracción ilegal de oro dentro de un pequeño afluente del río Petaquilla a menos de 200 metros aguas arriba del tramo muestreado.

Debido a que el IHF está determinado por 20 parámetros, es importante establecer la medida en que un conjunto de parámetros incide sobre el índice de calidad de hábitat fluvial, para esto se efectuó un análisis de componentes principales (Figura 12)

El análisis de PCA dio como resultado que no existe un conjunto de variables que expliquen de forma robusta las diferencias entre los tramos, de esta manera el Componente Principal 1 explica el 36% de la varianza y está compuesto por los

parámetros relacionados a la vegetación protectora, frecuencia de rápidos y estado del flujo del cauce. Por su parte el componente principal 2 que explica el 34.4% de la varianza se compone principalmente de los parámetros relativos a la estabilidad de las riberas

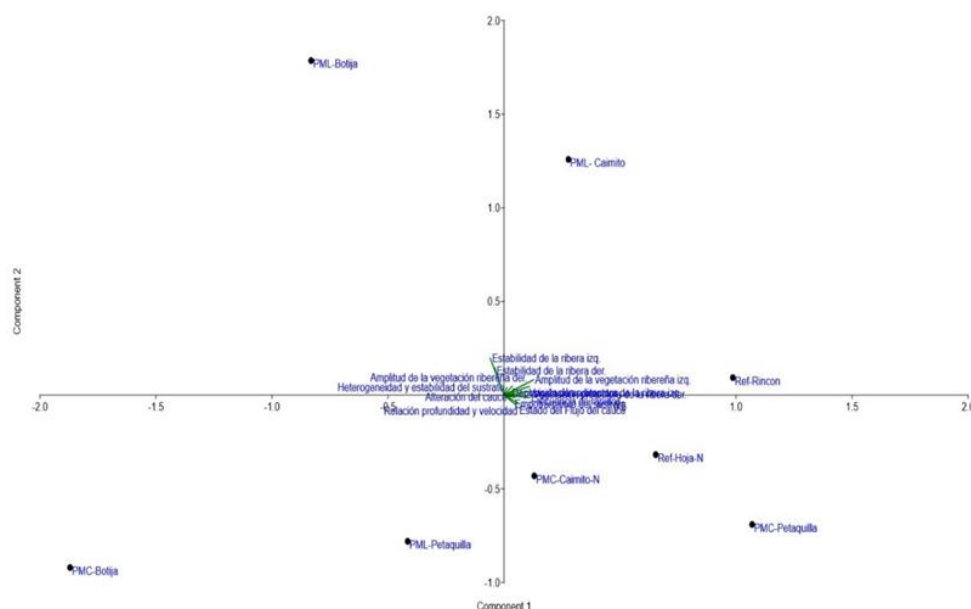


Figura 12. Gráfica del PCA indicando los componentes principales para cada sitio,

A pesar que los Índices QBR-PAN e IHF-PAN presentados en los informes previos tienen una metodología y escalas diferentes a las presentadas en este informe, es posible encontrar elementos en común que permitan comparar, con indicadores distintos, el estado de hábitat fluvial.

De esta manera, el informe del componente titulado “Elementos hidromorfológicos” presentado por los consultores EES para el año 2020, califica en la categoría de Muy Buena, el “estado de calidad global” de ambos tramos de referencia, PMC Caimito, PMC Botija y PML Botija, en tanto que el mismo informe califica en la categoría de Buena, el estado del hábitat de PML y PMC Petaquilla.

Siendo que bajo ambas metodologías la calidad de hábitat de todos los sitios se encuentra en el rango superior de puntuación de los dos primeros cuartiles, Óptimo y Subóptimo/ Muy Buena y Buena, se concluye que no ha habido cambios importantes o alteraciones en el hábitat

Calidad de Agua

Los resultados muestran que la calidad del agua es correspondiente con los niveles de calidad de aguas continentales para uso recreativo con y sin contacto directo tal como se plantea en el decreto ejecutivo 75 de 4 de junio de 2008.

Esto implica que se cumple con los compromisos adquiridos en el EsIA Cat III. La calidad de agua medida en este monitoreo es similar a la efectuada en años previos, mostrando ecosistemas pobres en nutrientes, baja relación nitrógeno:fósforo, conductividades por debajo de 66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y baja dureza del agua, en términos generales aguas blandas con bajo contenido de materia orgánica (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de parámetros de calidad de agua.

	NH ₃	NO ₃	Alk	Dureza CaCO ₃	N-Kjeldahl	N total	TSS	Cond	TDS
PMC-BOTIJA	0.01	0.12	20.81	28.65	0.05	0.50	1.00	74	36
PMC-CAIMITO	0.09	4.23	19.09	175.92	1.14	8.30	5.00	558	274
PMC-PETAQUILLA	0.01	0.10	13.23	15.28	0.05	0.50	1.00	36	18
PML-BOTIJA	0.01	0.13	20.30	19.10	0.05	0.50	1.00	57	27
PML-CAIMITO	0.09	0.53	15.96	38.20	1.14	1.70	5.00	113	80
PML-PETAQUILLA	0.01	0.13	13.34	17.19	1.24	0.50	1.00	38	18
Ref. -Hoja	0.01	0.13	20.30	22.92	0.05	0.50	17.00	66	32
Ref-Rinconcito	0.01	0.11	17.68	17.19	0.05	0.50	1.00	44	22

Los tramos ubicados en el río Caimito presentaron concentraciones de nitratos y otras formas de nitrógeno, superiores a los valores de los sitios de referencia. La misma condición se presenta para los valores de conductividad y total de sólidos disueltos (TDS). Los mismos parámetros, medidos en los demás sitios presentaron condiciones similares a los de referencia.

En comparación con el periodo de muestreo anterior, los puntos ubicados sobre el río Caimito reflejan un cambio en los valores de amonio, nitratos, nitrógeno total, dureza y conductividad (Figura 13).

Un análisis de componentes principales (Figura 14), refleja que los sitios PMC Caimito y PML Caimito se distancian de los demás sitios, explicado por el componente principal 1 que sustenta el 99.7% de la varianza entre los sitios. Los parámetros de mayor peso en el componente principal 1 son la conductividad, los sólidos totales disueltos y en menor grado los compuestos nitrogenados

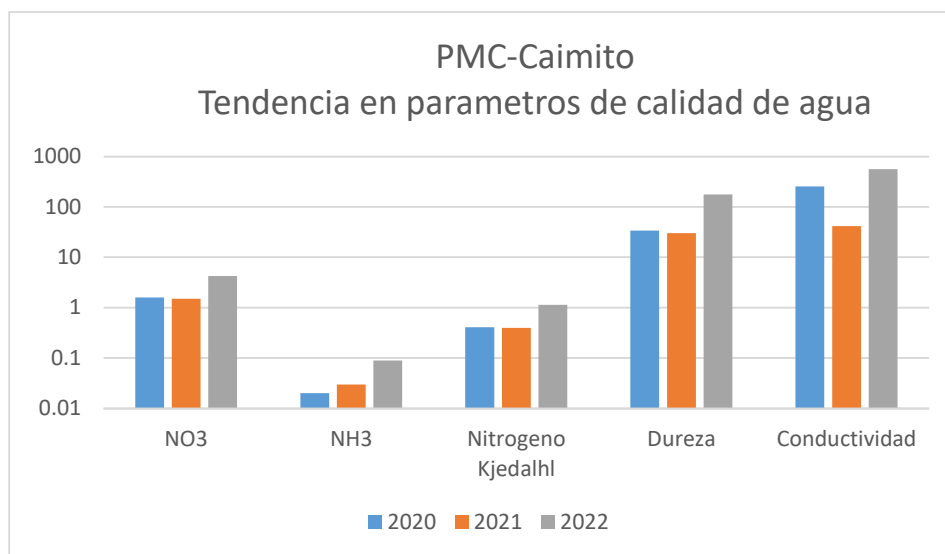


Figura 13. Gráfico de barras para los parámetros que determinan las diferencias en PMC Caimito.

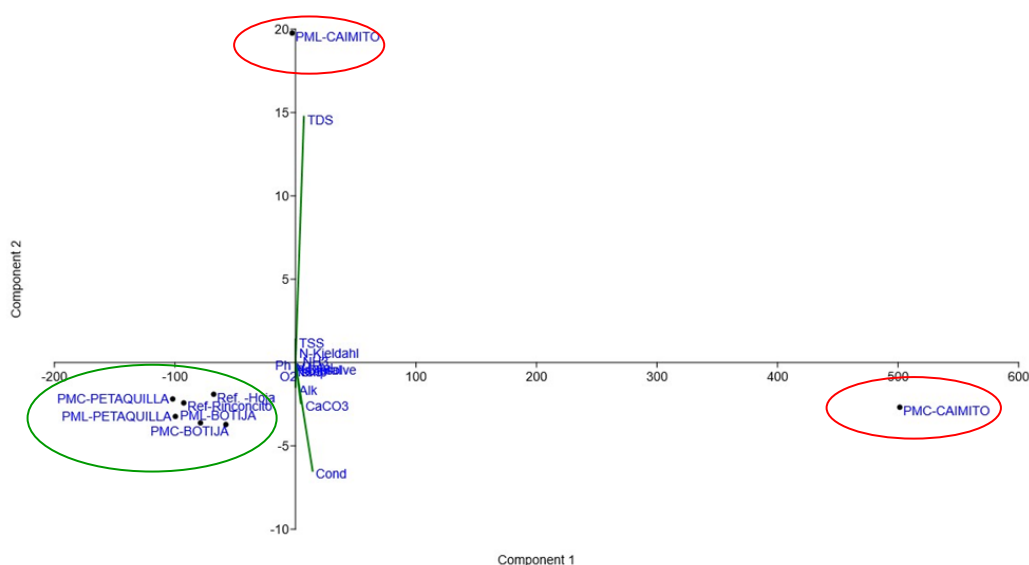


Figura 14. Gráfica del PCA indicando los componentes principales de calidad de agua en cada sitio.

El resto de los tramos presenta condiciones de calidad de agua que no difieren significativamente de los rangos presentes en los sitios de referencia. Esta condición se verifica mediante el análisis de clúster, mediante el índice de similitud de Bray Curtis utilizando el algoritmo UPGMA (Figura 15).

Este análisis permite agrupar los tramos en función de la similitud del conjunto de variables de calidad de agua utilizados para correr el modelo. El diagrama agrupamiento obtenido coloca a los sitios PMC-Petaquilla y PML-Petaquilla en un grupo, anidado junto al sitio de Ref. Rinconcito, sugiriendo que no existen diferencias importantes en los valores de los parámetros de calidad de agua

El siguiente clúster o grupo está compuesto por los sitios PML- Botija, Ref. Hoja y PMC-Botija, con similitud por encima de 0.90, finalmente los sitios PML Caimito y PMC Caimito aparecen separados de los otros dos grupos y entre sí, reflejando las diferencias ya antes discutidas.

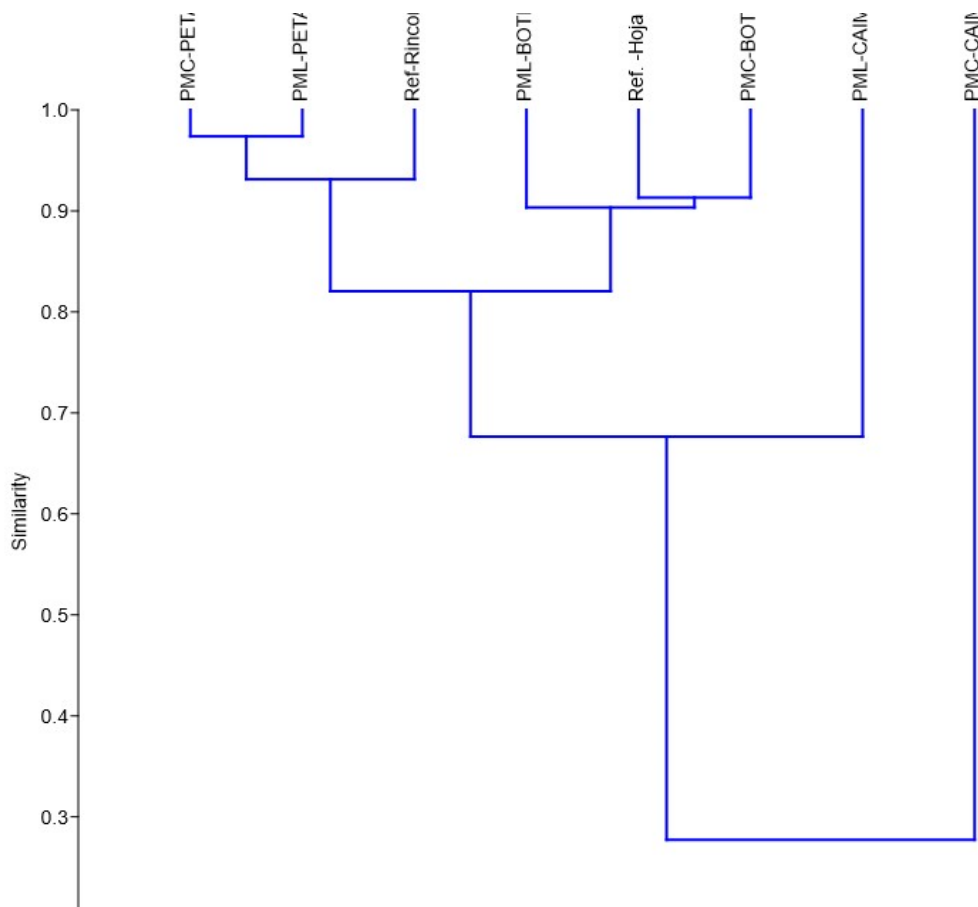


Figura 15. Diagrama de clúster en función de la similitud de los sitios utilizando parámetros de calidad de agua.

En conclusión, sobre la calidad de agua de los sitios muestreados puede decirse que la mayoría presenta condiciones similares a los de sitios de referencia a excepción de los tramos PMC-Caimito y PML-Caimito.

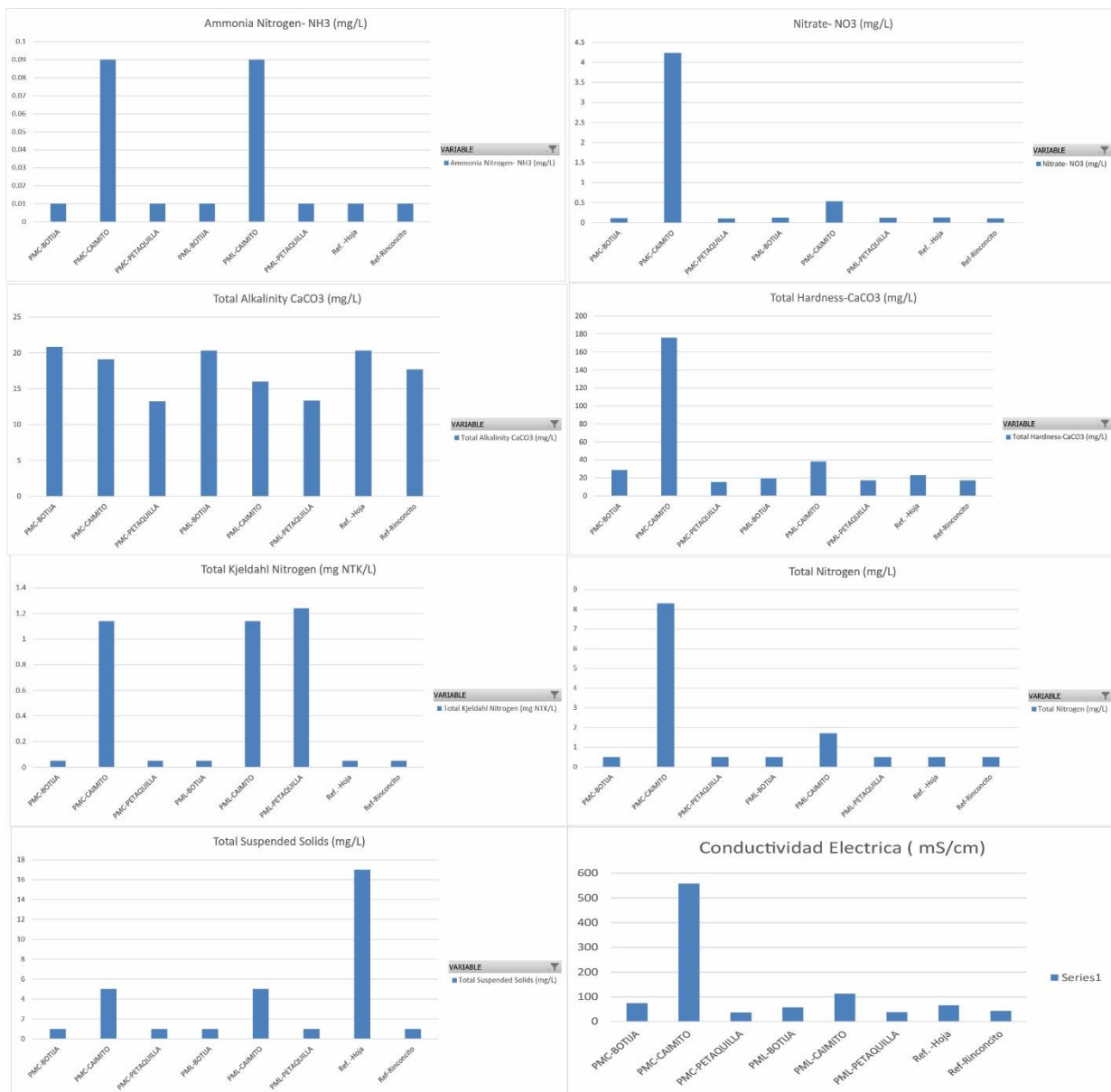


Figura 16. Gráficos de barras mostrando los valores alcanzados por los parámetros de calidad de agua en cada sitio.

Metales en Agua

La tabla 9 presenta las concentraciones de metales detectados en las muestras de agua, en sus formas disueltas como totales. De estos elementos los que presentaron diferencias significativas entre las muestras fueron el calcio y manganeso.

Tabla 9. Valores de metales disueltos en agua. Solo se presentan los metales que alcanzaron concentraciones detectables en la muestra.

	Dis-Ca	Total-Ca	Total-Fe	Dis-Mg	Total-Mg	Total-Mn	Dis-K	Total-K	Dis-Si	Total-Si	Dis-Na	Total-Na
	mg/l											
PMC-BOTIJA	5.96	7.00	0.41	2.14	2.44	483	0.54	0.84	8.55	10.00	2.26	3.26
PMC-CAIMITO	5.82	9.65	0.44	1.14	1.94	184	0.90	2.45	10.27	10.50	2.91	8.24
PMC-PETAQUILLA	2.45	2.57	0.23	1.58	1.85	721	0.39	0.55	1.23	6.11	1.23	1.87
PML-BOTIJA	4.03	5.07	0.44	1.33	1.68	612	0.66	1.00	7.33	8.72	2.00	3.03
PML-CAIMITO	14.8	71.4	0.64	1.28	3.91	100	2.56	10.98	6.04	6.92	5.31	19.38
PML-PETAQUILLA	2.11	2.45	0.42	1.47	1.67	612	0.36	0.59	5.32	5.60	1.21	1.81
Ref. -Hoja	7.05	13.81	1.37	1.09	1.41	82	0.96	2.38	6.23	11.41	3.72	4.57
Ref-Rinconcito	2.76	3.60	0.16	1.41	1.57	551	0.80	1.12	9.43	10.61	2.28	3.23

La concentración de calcio total alcanzó el valor de 71.4 mg/l en el punto PML Caimito. El calcio disuelto en este punto también registro el mayor valor de entre las muestras (14.8 mg/l) . El siguiente valor más elevado se registra en el arroyo de referencia Hoja con un registro de calcio total de 13.81 mg/l y 7.05 mg/l de calcio disuelto, valores cercanos se registraron en PMC Botija (7.00 mg/l y 5.86 mg/l) de calcio total y disuelto respectivamente.

El manganeso total alcanza el valor máximo de 721 mg/l en el tramo PMC Petaquilla y el mínimo de 82 mg/l en Referencia Hoja, sitio considerados fuera de las cuencas de influencia del proyecto.

El resto de los elementos, en sus formas totales o disueltas no logran explicar las diferencias entre los sitios muestreados, reportando por lo general valores similares e incluso inferiores a los registrados para los sitios de referencia.

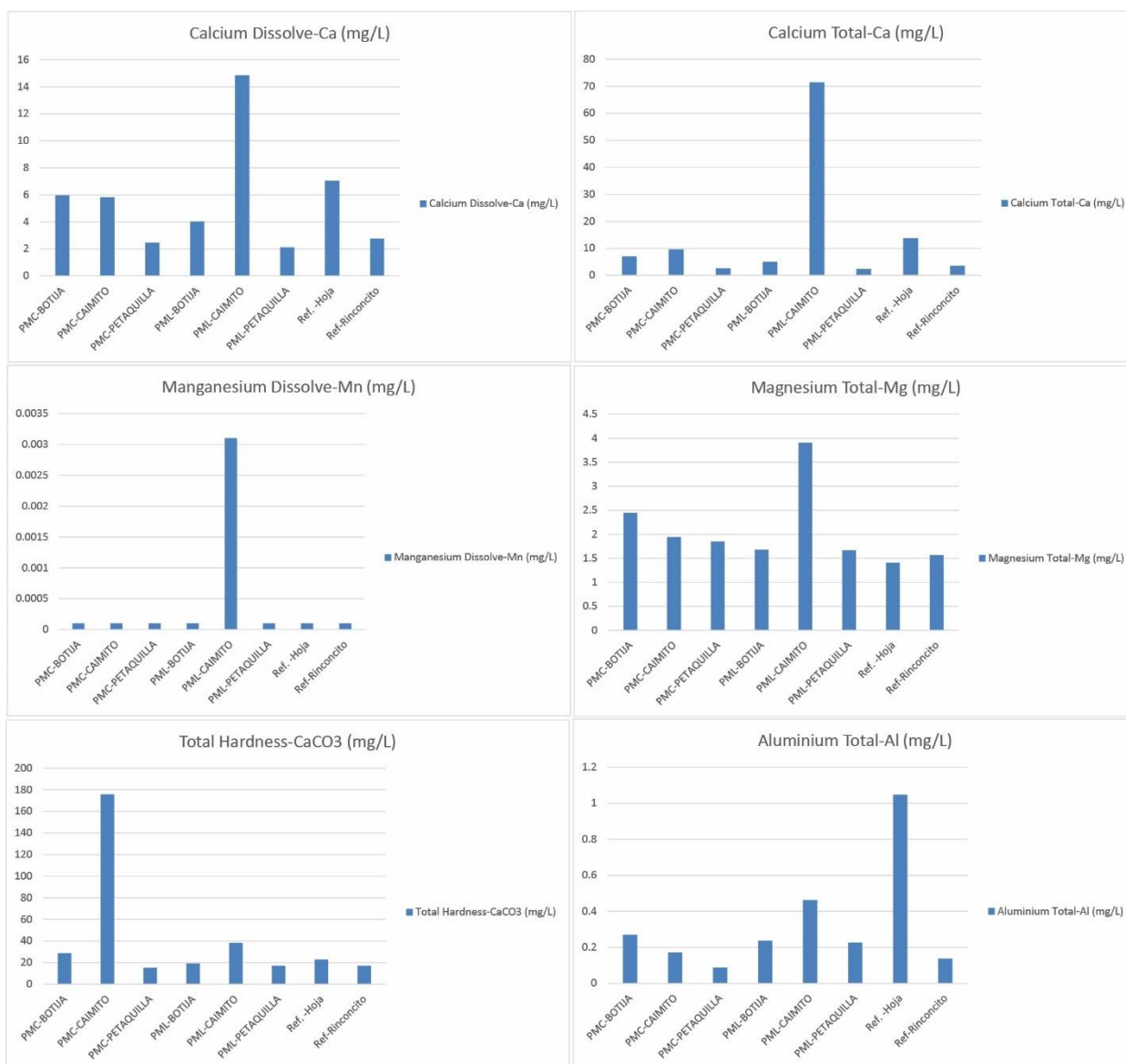


Figura 17. Gráficos de barras mostrando los valores de los metales que explican el 95% de las diferencias entre los sitios.

El análisis de clúster presentado en la figura 18, indica que los sitios PMC Petaquilla, PML-Botija, PML- Petaquilla, Ref. Rinconcito y PMC Botija componen un clúster con al menos 85% de similitud. Este grupo se separa de los sitios PMC Caimito, PML Caimito y Ref. Hoja, agrupados en función de la concentración de calcio en la muestra de agua.

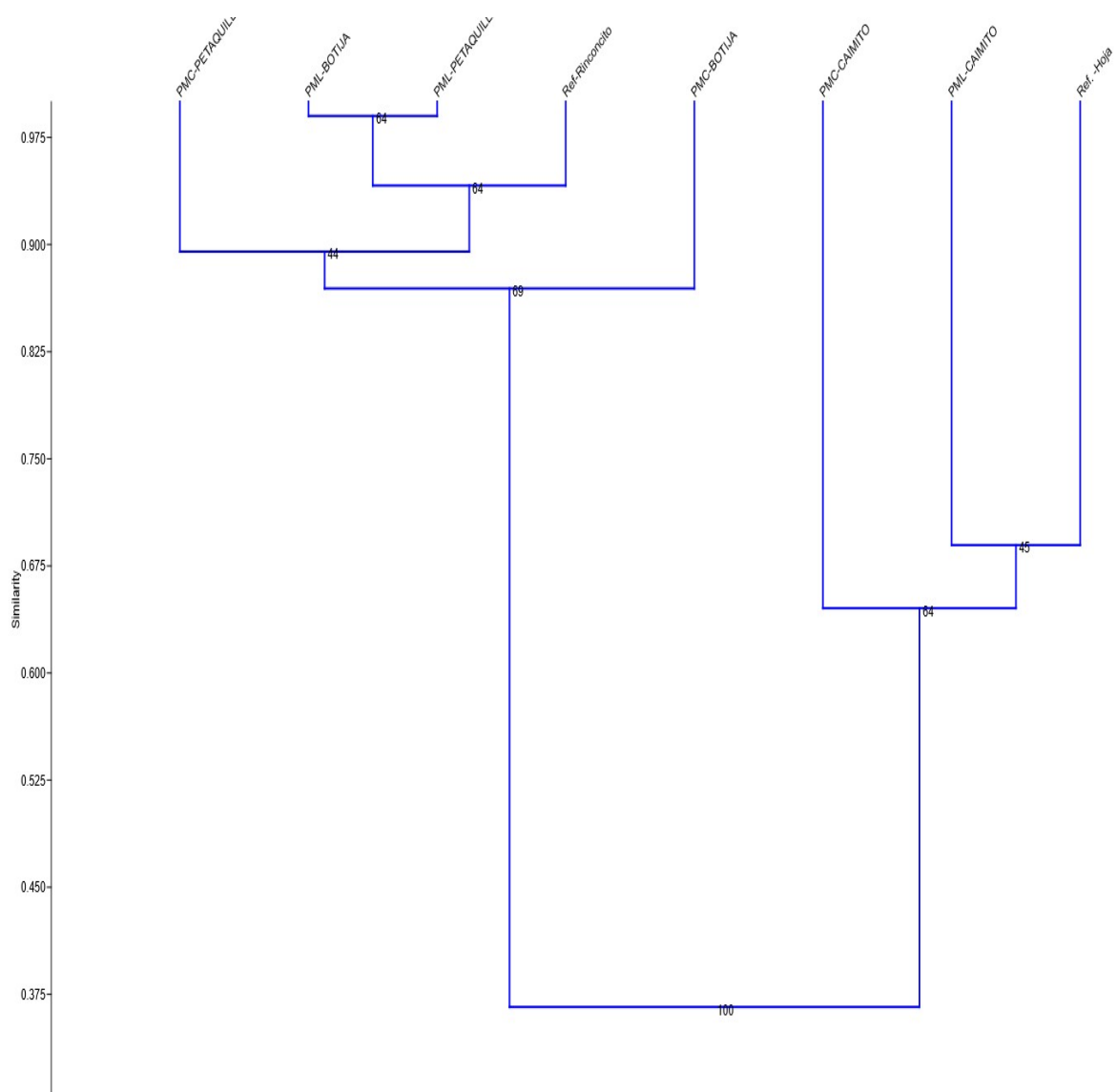


Figura 18. Diagrama de clúster o agrupamiento en función de la similitud de los sitios utilizando metales disueltos en agua.

Metales en Sedimentos

No existen estudios que validen los niveles de toxicidad de metales presentes en sedimentos para la fauna acuática del neotrópico, sin embargo, tomando como referencia los valores máximos para distintos usos de lodos establecidos en el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 47-2000, ninguna de las muestras colectadas alcanza o excede los criterios máximos establecidos para los elementos regulados por esta norma (As,Cr,Cu,Hg,Mb,Ni,Se y Zn).

Cabe señalar que el campo de aplicación de la norma DGNIT-COPANIT 47-2000 comprende a las plantas de tratamiento de aguas residuales provenientes de establecimientos emisores, que descargan a los sistemas de recolección de aguas residuales, y todo tipo de plantas de tratamiento de aguas residuales que generan lodos como resultado del proceso de tratamiento.

Otra norma de referencia, pero de carácter internacional es The Canadian Sediment quality guidelines (CCME, 2001) e igualmente los resultados en ningún caso excede esta norma.

La tabla 10 presenta la concentración en mg/ kg de los elementos detectados en las muestras de sedimentos. Los elementos hierro, aluminio, manganeso y en menor medida el cobre, explican el 87.5% de las diferencias entre las muestras de sedimentos de estos sitios, en tanto que el calcio explica el 12.2 % de las diferencias (Figura 19)

Tabla 10. Valores de metales en sedimento. Solo se presentan los metales que alcanzaron concentraciones detectables en la muestra

	mg/kg							
Sitio	Al	Ba	Be	B	Cd	Ca	Cr	Co
PMC-BOTIJA	8998	45.0	1.4	31.4	10.4	984	13.5	42.2
PMC-CAIMITO	5272	18.6	1.0	13.5	0.0	1003	4.6	2.9
PMC-PETAQUILLA	18657	65.0	1.8	39.7	14.6	557	14.1	17.1
PML-BOTIJA	19172	78.3	1.5	25.7	9.4	554	13.6	10.9
PML-CAIMITO	5682	27.1	0.7	8.9	0.0	606	3.5	0.9
PML-PETAQUILLA	19172	78.3	1.5	25.7	9.4	554	13.6	10.9
Ref. HOJA	3637	24.9	0.8	10.3	2.5	396	2.9	0.0
Ref.RINCONCITO	11462	70.9	1.1	15.1	5.0	1268	6.9	0.0
	mg/kg							
Sitio	Cu	Fe	Pb	Mn	Mo	Ni	Zn	
PMC-BOTIJA	305	22367	15.3	1817.1	6.9	9.5	106.7	
PMC-CAIMITO	43	17831	0.0	1161.8	2.9	1.6	35.7	
PMC-PETAQUILLA	324	25998	17.1	4264.1	7.4	3.9	161.4	
PML-BOTIJA	197	21220	11.6	3917.0	3.0	3.9	121.1	
PML-CAIMITO	30	10566	0.0	938.7	0.4	0.7	19.6	
PML-PETAQUILLA	197	21220	11.6	3917.0	3.0	3.9	121.1	
Ref. HOJA	26	8496	3.0	604.1	0.0	0.3	15.6	
Ref.RINCONCITO	39	13756	9.7	1686.1	0.0	1.7	77.4	

El hierro por ser un elemento metálico presente de forma natural y abundante en los sustratos arcillosos del área no explica por sí solo las diferencias y los valores máximos registrados en este muestreo se corresponden con los obtenidos en estudios previos.

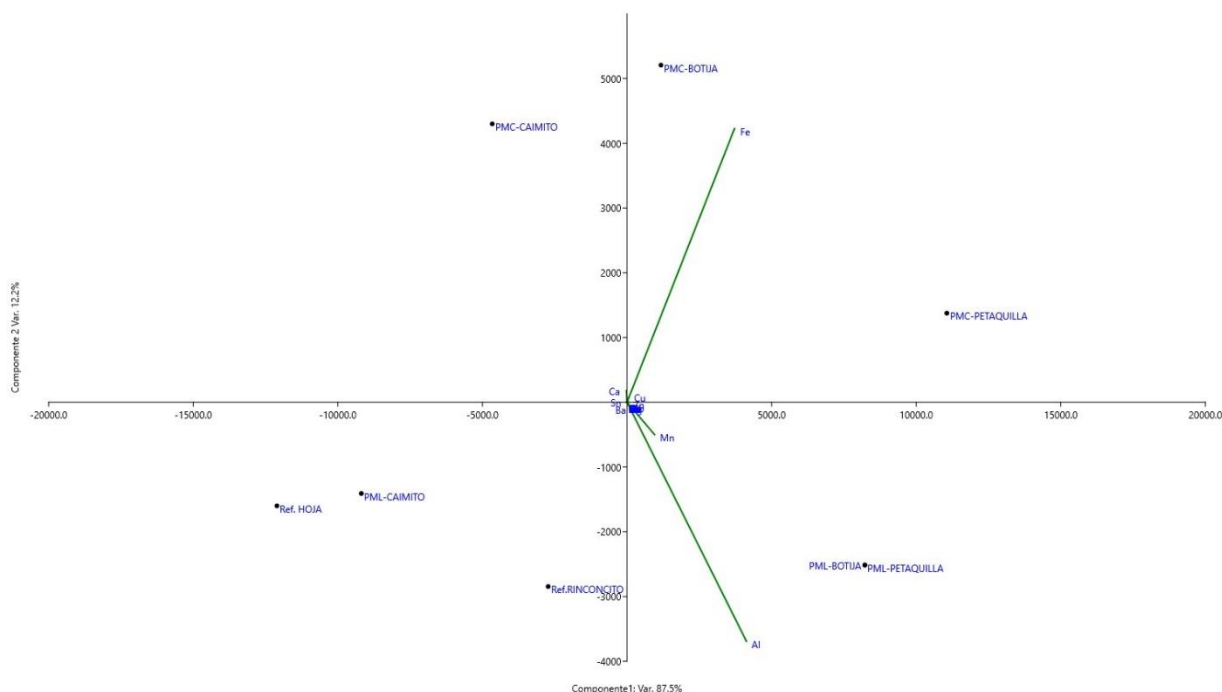


Figura 19. Gráfica del PCA indicando los metales en sedimentos que explican las diferencias entre sitios.

Índice de Arraigo

Los resultados crudos de las fracciones de arraigo de este muestreo están expresados en unidades de peso (gramos). Para poder comparar las muestras entre sí, se presentan los resultados de cada fracción de arraigo, como porcentaje del peso total de la muestra seca. La figura 20 presenta los porcentajes de cada fracción de las muestras.

Utilizando la escala Wentworth de tamaños de partícula, en color gris están representadas las gravas (2 a 8 mm), en color beige las arenas gruesas (0.5 a 1.00 mm) y en rojo las partículas finas inferiores a 0.50 mm. La proporción de sedimento fino indica el nivel de arraigo o empotramiento del sustrato.

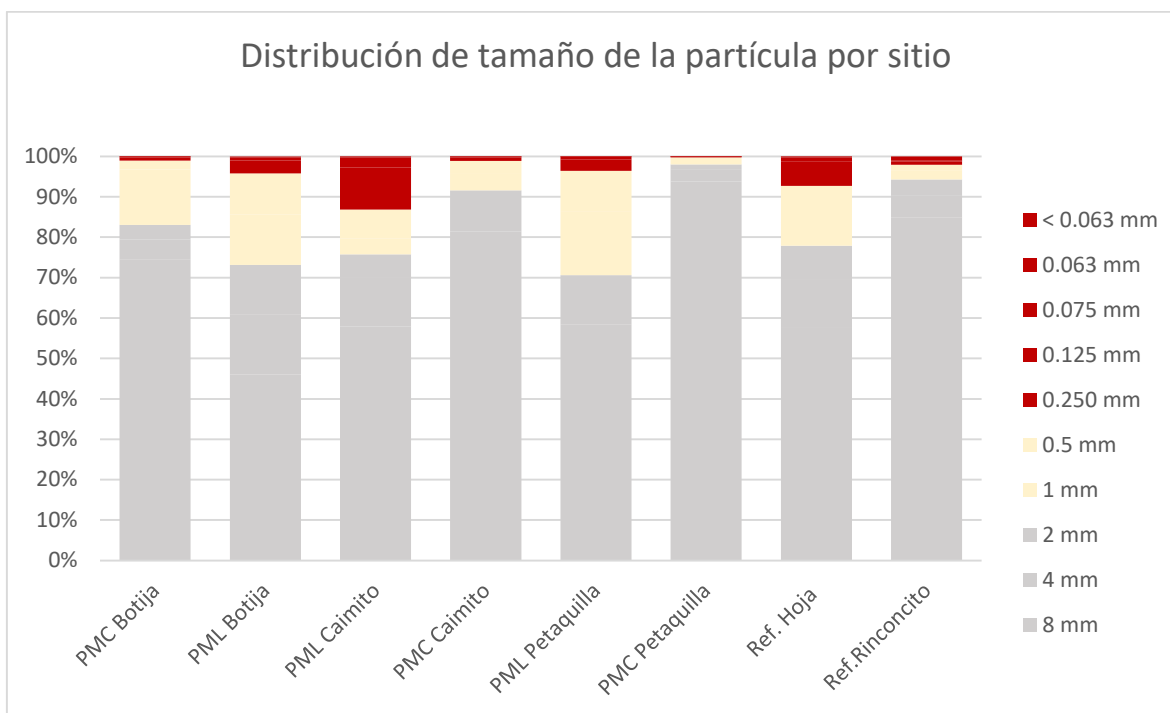


Figura 20. Distribución del tamaño de las partículas por sitio.

El porcentaje en que el sedimento fino ($< 0.5\text{mm} - 0.063\text{mm}$) forma parte de la muestra colectada se utiliza para estimar el grado de empotramiento del sustrato.

El sitio PML Caimito presentó porcentajes de sedimento fino y arenas superiores al 10%, en contraste el resto de los tramos muestreados, no se ha determinado el origen de estos sedimentos finos, de mantenerse esta situación se recomienda una evaluación a nivel de la cuenca media a fin de determinar posibles causas.

La baja presencia de sedimentos en el resto de los tramos muestreados sugiere que bajo las condiciones actuales, no hay aportes importantes de material particulado fino que esté afectando los cursos de agua que forman parte de este estudio. Esta condición fue similar a la reportada en los años 2019 y 2020.

Perifiton

El perifiton para este muestreo estuvo constituido por los grupos Bacillariophyta, Charophyta y Chlorophyta, con una abundancia relativa del 99,88, 1,07 y 0,05% respectivamente. Entre estaciones el Bacillariophyta, fue el más representativo en cuanto a abundancia y riqueza.

Se registraron 21 taxas en su totalidad y entre puntos de muestreo la riqueza (S) obtuvo un rango entre 9 y 14 taxas y una densidad desde 7.764 (PML Caimito) hasta 23.591 Ind/cm² (PMC-Botija). Los sitios Ref.-Rinconcito, PML-Caimito, PMC

Petaquilla y PML- Botija, presentaron el mayor aporte taxonómico, mientras que Ref-Hoja, PML Petaquilla, PMC- Caimito y PMC- Botija, el más bajo.

Entre estaciones, los taxas que constituyeron Ref.-Hoja, PML-Caimito y PML-Botija, obtuvieron abundancias más homogéneas que los que constituyeron las demás estaciones.

Los géneros más abundantes fueron *Navicula* sp, *Synedra* sp, *Fragilaria* sp, *Pinnularia* sp, *Nitzschia* sp, y *Encyonema* sp, todos pertenecientes al grupo de las Bacillaroephytas, representando abundancias relativas de 23, 17, 16, 12, 11, y 5%, respectivamente, cuya presencia es típica de arroyos turbulentos y con alta cara de sedimentos (Dodds & Whiles 2020). El grupo Bacillaroephyta, habitualmente es el grupo mayoritario y más diverso en las comunidades de perifiton. Se trata de un grupo ampliamente diversificado y con una gran variedad de adaptaciones, lo que hace que hayan alcanzado un alto número individuos y taxas. En la figura 23, se encuentra el registro fotográfico de algunos taxas registrados.

La contribución taxonómica del 2022 fue similar a la registrada en el 2021. Para este año la composición por grupos exceptúa la presencia de las cianobacterias. Continúan registrándose los géneros *Navicula* sp, *Pinnularia* sp, en todas las estaciones, adicionando para junio de 2022 los taxa *Fragilaria* sp, *Nitzschia* sp, *Encyonema* sp y *Eunotia* sp. Los taxas *Surirella* sp, *Spirogyra* sp., entre otras, no coincidieron en todos los puntos de muestreo, mientras que *Calothrix* sp, *Rhoicosphenia* sp, *Mougeotia* sp, *Phormidium* sp y *Oscillatoria* sp., no se registraron este año, en su lugar se hallaron *Staurostrum* sp, *Craticula* sp, *Cocconeis* sp, y *Eunotia* sp.

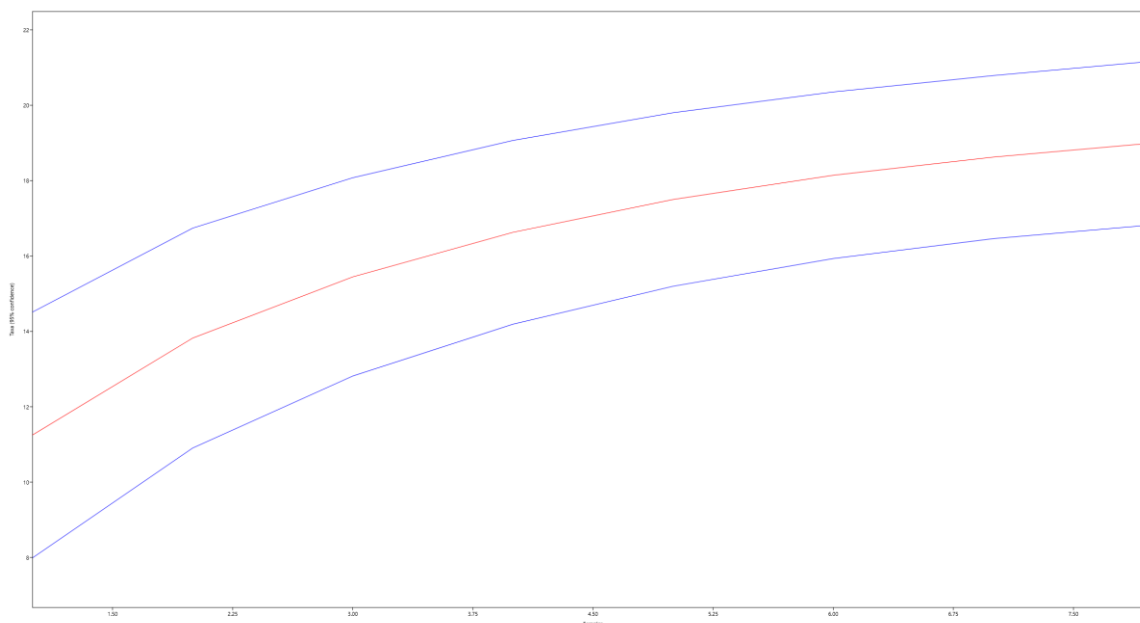


Figura 21. Curva de acumulación de morfoespecies de perifiton. Nótese que la curva alcanza la asíntota indicado completitud del muestreo.

Tabla 11. Principales índices descriptores de biodiversidad de algas que componen el perifiton de las muestras.

Indices	Ref- Hoja_	Ref- Rinconcit o	PML- Petaquilla	PMC- Petaquilla	PMC- Caimito	PML- Caimito	PML- Botija	PMC- Botija
Taxa_S	9	14	10	12	9	13	13	10
Individuals/cm ²	12326	16266	12600	8906	19880	7764	9625	23572
Dominance_D	0.18	0.24	0.34	0.21	0.54	0.10	0.14	0.31
Simpson_1-D	0.82	0.76	0.66	0.79	0.46	0.90	0.86	0.69
Shannon_H	1.88	1.84	1.39	1.87	1.11	2.41	2.15	1.67
Evenness_e^H /S	0.73	0.45	0.40	0.54	0.34	0.86	0.66	0.53
Brillouin	1.88	1.84	1.39	1.86	1.10	2.41	2.15	1.66
Menhinick	0.08	0.11	0.09	0.13	0.06	0.15	0.13	0.07
Margalef	0.85	1.34	0.95	1.21	0.81	1.34	1.31	0.89
Equitability_J	0.85	0.70	0.60	0.75	0.50	0.94	0.84	0.72
Fisher_alpha	0.95	1.51	1.07	1.37	0.90	1.52	1.48	0.99
Berger-Parker	0.26	0.41	0.45	0.38	0.72	0.15	0.25	0.53
Chao-1	9	14	10	12	9	13	13	10

El dendrograma de similitud (UPGMA) con el índice de Bray-Curtis muestra la relación de los diferentes grupos taxonómicos que se encontraron en el muestreo (Figura 22).

El dendrograma que se genera a partir de los datos del muestreo ubica a PML Caimito y PML Botija como sitios con similitud superior a 0.60 en función de su comunidad de algas perifíticas.

El resto de las comunidades son diferentes entre sí y entre el par PML Caimito y PML Botija con índices de similaridad inferior a 0.5

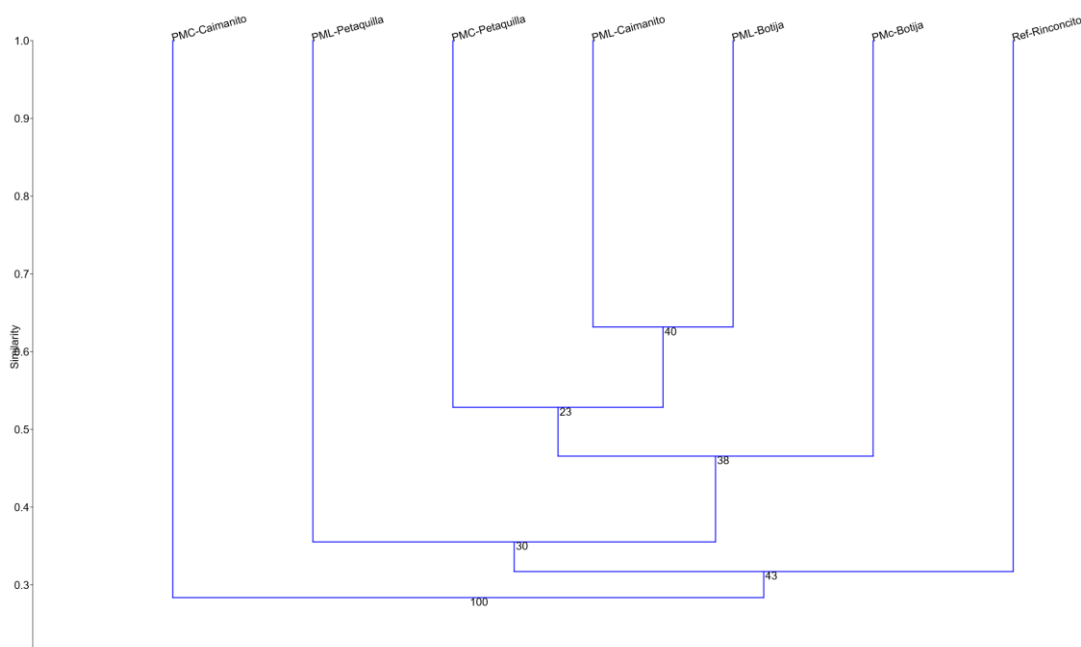


Figura 22. Dendrograma utilizando el método de aglomeración UPGMA con el índice Bray Curtis, para la composición taxonómica de algas perifíticas en las muestras.



Synedra sp.



Navicula sp.



Cymbella sp.



Pinnularia sp.



Spirogyra sp.



Gomphonema sp2.

Figura 23.Registro fotográfico de algunos taxas registrados en el área de estudio.

Macroinvertebrados acuáticos

Durante este muestreo se colectaron 4,304 individuos correspondientes a 91 géneros distribuidos en 41 familias de macroinvertebrados acuáticos (Tabla 12).

El total de individuos colectado en cada tramo se presentan en el siguiente cuadro segregados por orden y familia (orden alfabético). Anexo se presenta la densidad al mínimo nivel taxonómico que fue posible identificar los invertebrados del bentos colectado.

Tabla 12. Cantidad de individuos por taxon y localidad

Orden	Familia	PMC Botija	PMC Caimito	PMC Petaquilla	PML Botija	PML Caimito	PML Petaquilla	Ref Hoja	Ref Rinconcito
Coleoptera	Dryopidae	2	0	0	0	0	0	0	0
	Elmidae	53	6	35	124	4	63	4	12
	Gyrinidae	0	0	1	0	0	0	0	0
	Psephenidae	42	0	17	32	0	14	3	0
	Ptilodactylidae	3	0	2	0	0	1	0	5
Decapoda	Atyidae	0	0	0	1	56	0	0	2
	Palaemonidae	0	1	1	0	250	3	11	5
	Pseudothelphusidae	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Ceratopogonidae	0	0	0	0	0	0	1	0
	Chironomidae	52	5	6	7	10	29	3	16
	Simuliidae	8	0	12	5	0	0	1	3
	Tipulidae	5	0	1	2	0	0	3	0
Ephemeroptera	Baetidae	192	21	44	66	22	41	54	31
	Caenidae	1	4	1	0	0	1	0	1
	Chironomidae	0	0	0	11	0	0	0	0
	Coenagrionidae	0	0	0	0	0	6	0	0
	Gomphidae	0	0	0	0	0	1	0	0
	Heptageniidae	3	0	0	0	0	0	0	1
	Heteragrionidae	0	0	0	0	0	6	0	0
	Leptohyphidae	377	35	52	79	14	74	38	21
	Leptophlebiidae	259	182	83	170	40	54	29	77
	Platystictidae	0	0	0	0	0	1	0	0
Gastropoda	Ampullariidae	0	1	0	0	0	0	0	0
	Lymnaeidae	0	0	0	0	0	2	0	0
	Neritidae	0	0	0	0	2	0	1	0
	Thiaridae	0	19	0	0	0	5	0	0
Hemiptera	Gerridae	0	0	0	0	3	0	0	0
	Naucoridae	2	2	1	1	0	3	0	0

Orden	Familia	PMC Botija	PMC Caimito	PMC Petaquilla	PML Botija	PML Caimito	PML Petaquilla	Ref Hoja	Ref Rinconcito
	Veliidae	2	0	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	Crambidae	0	3	1	0	2	3	3	1
Megaloptera	Corydalidae	3	0	2	3	2	0	0	0
Odonata	Calopterygidae	8	0	0	0	0	0	0	0
	Coenagrionidae	53	2	0	3	0	1	0	0
	Gomphidae	11	0	0	6	0	4	1	5
	Heteragrionidae	16	0	1	1	0	1	0	3
	Libellulidae	10	0	0	0	0	0	0	2
	Platystictidae	6	2	0	1	0	3	1	1
	Polythoridae	1	0	0	1	0	1	0	3
Plecoptera	Perlidae	5	0	3	12	0	0	0	13
Triclarida	Planariidae	1	1	0	0	1	0	0	0
Trichoptera	Glossosomatidae	4	0	0	0	0	0	0	0
	Hydropsychidae	54	107	8	4	14	4	25	77
	Hydroptilidae	6	31	14	0	37	123	46	7
	Leptoceridae	1	0	3	2	0	0	1	0
	Philopotamidae	349	0	3	83	1	1	0	17
	Planariidae	2	0	0	0	0	0	0	0
	Polycentropodidae	9	0	0	1	0	3	0	1

A nivel de orden, Ephemeroptera fue el orden con mayor abundancia en todos los sitios y representó el 49% de las colectas de macroinvertebrados en este muestreo (Figura 24).

El orden Ephemeroptera es uno de los grupos de macroinvertebrados con mayor importancia no sólo a nivel de bioindicación, debido a su relativamente alta sensibilidad a los niveles de contaminación, abundancia y ubicuidad, sino como constituyente biológico fundamental de la cadena trófica y del equilibrio de los ecosistemas acuáticos, tanto en su estado larval, aportando biomasa y procesando materia orgánica, como en su estado adulto, aportando energía al ecosistema al ser presas principales de múltiples organismos terrestres.

El segundo orden más abundante durante este muestreo fue Trichoptera, representando el 24% de las colectas y por sus características biológicas y ecológicas, forma junto a Ephemeroptera y Plecoptera un conjunto de órdenes que son utilizados como indicadores biológicos de la calidad del agua.

Estos dos órdenes componen el 73% de la muestra, el 27% restante estuvo compuesto por 10 órdenes de macroinvertebrados acuáticos representados por Coleoptera (10%), Decapoda (8%), Diptera (4%), Odonata (3%) y Plecoptera, Lepidoptera, Haplotaxida, Megaloptera y Gastropoda con menos del 1% de representación cada una.

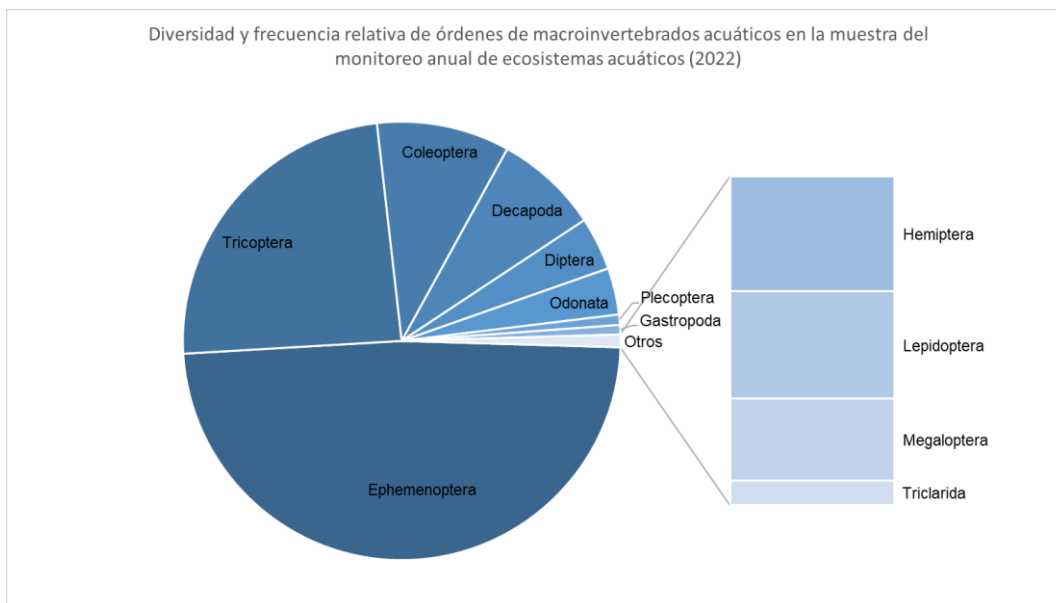


Figura 24. Gráfico mostrando la abundancia relativa de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos presentes en las muestras.

Las familias mejor representadas del orden Ephemeroptera fueron Leptophlebiidae (n=894), Leptohyphidae (n=690) y Baetidae (n=471), las otras dos familias presentes fueron Caenidae y Heptageniidae con menos de 10 individuos cada una.

Respecto al orden Trichoptera, las familias con mayor abundancia fueron Philopotamidae (n=454), Hydropsychidae (n=293) e Hydroptilidae (n=264), estas tres familias componen el 98% de la muestra de Trichoptera, el resto se distribuye entre las familias Glossosomatidae, Leptoceridae y Polycentropodidae.

El orden Coleoptera estuvo representado por cinco familias, de las cuales la más abundante fue Elmidae (n=301) seguido de Psephenidae (n=108) ambas familias componen el 97 % de la muestra de Coleoptera, las otras familias presentes fueron Dryopidae, Gyrinidae y Ptilodactylidae.

En análisis de a nivel de género permite, por una mejor resolución taxonómica, elaborar análisis de diferencias y similitudes entre los sitios muestreados utilizando el ensamble de comunidades de macroinvertebrados acuáticos como variables.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, a través del Análisis de Componentes Principales (Figura 25) se exponen ordenadamente y de una forma más clara la variabilidad de los datos de diversidad obtenidos. Se observa que dentro de la elipse se encuentran agrupados el 60% de los géneros presentes, la mayoría de ellos que por su baja abundancia están agrupados en el centro de la gráfica no tienen una mayor representatividad, o no caracterizan los sitios muestreados.

Los géneros que por su abundancia marcan una diferencia entre los sitios están representados dentro del casco convexo, retirados del grupo y estos son camarones del género *Atyia* muy frecuentes en PML Caimito, los efemerópteros *Thraulodes*, *Leptohyphes* y el tricóptero del género *Chimarra*.

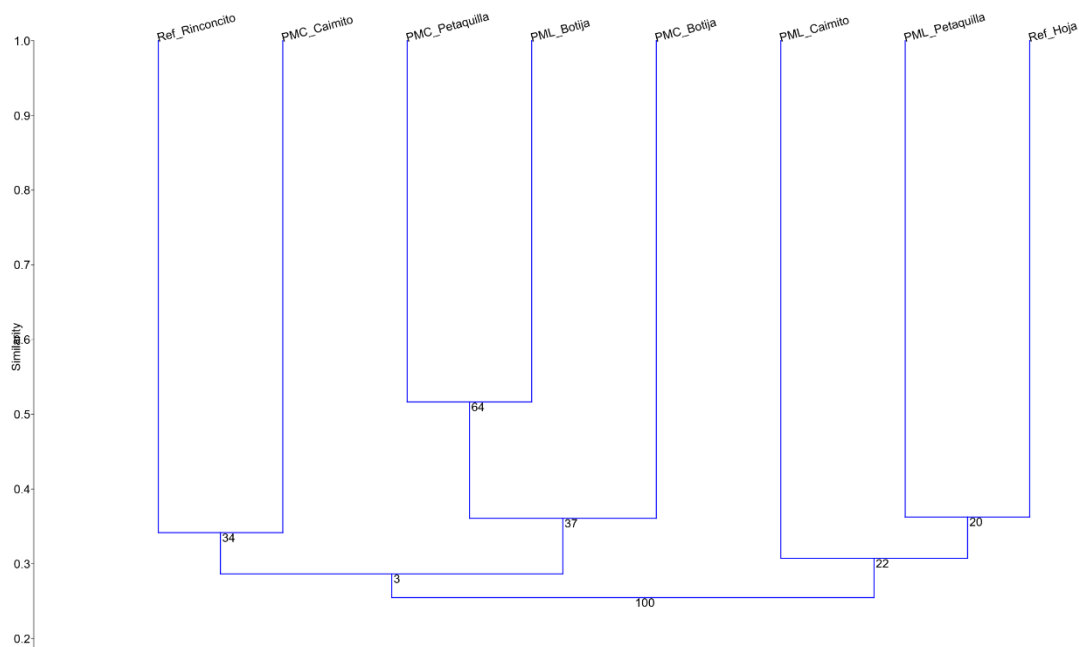


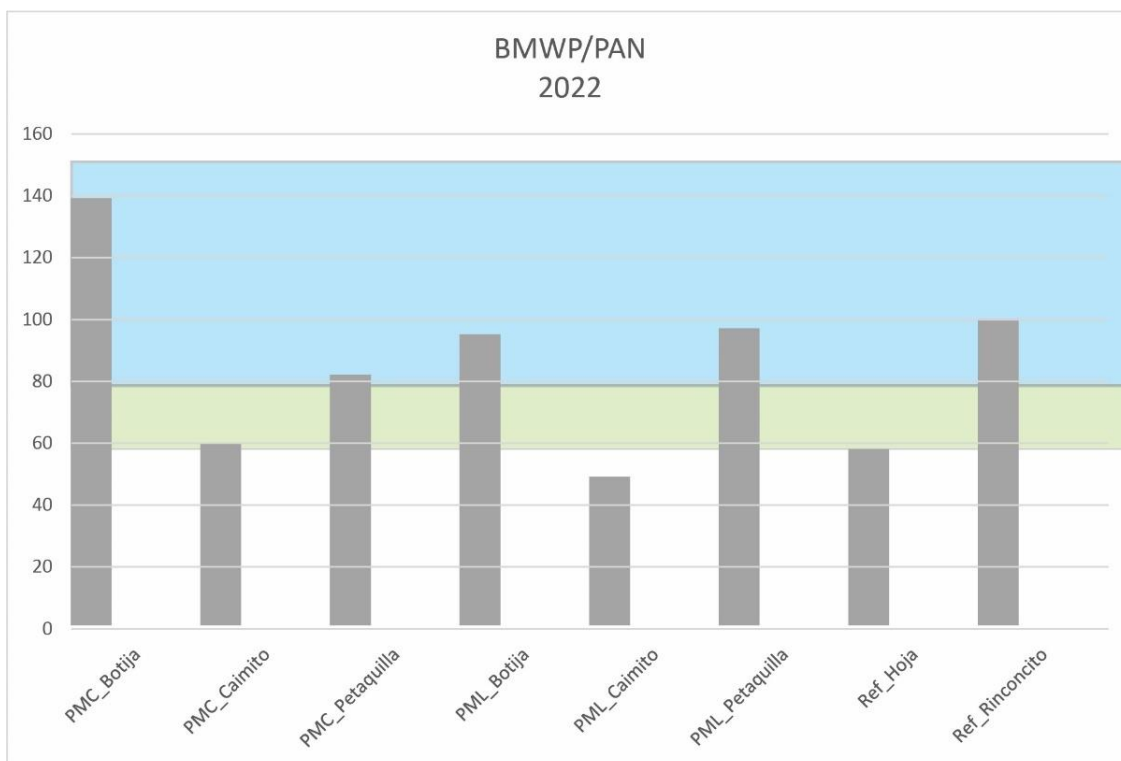
Figura 26. Árbol de agrupamiento por índice de similaridad Bray Curtis para macroinvertebrados.

BMWP/PAN

Los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican que el sitio PMC Botija obtuvo el mejor puntaje (138), asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad estuvieron los sitios PML Petaquilla, PML Botija, PMC Petaquilla, PML Botija y Ref. Rinconcito. PMC Caimito presentó un valor de BMWP/PAN de 59 que corresponde a calidad de agua regular según este índice. Los tramos con índices más bajos fueron el sitio de referencia de río Hoja y PML Caimito.

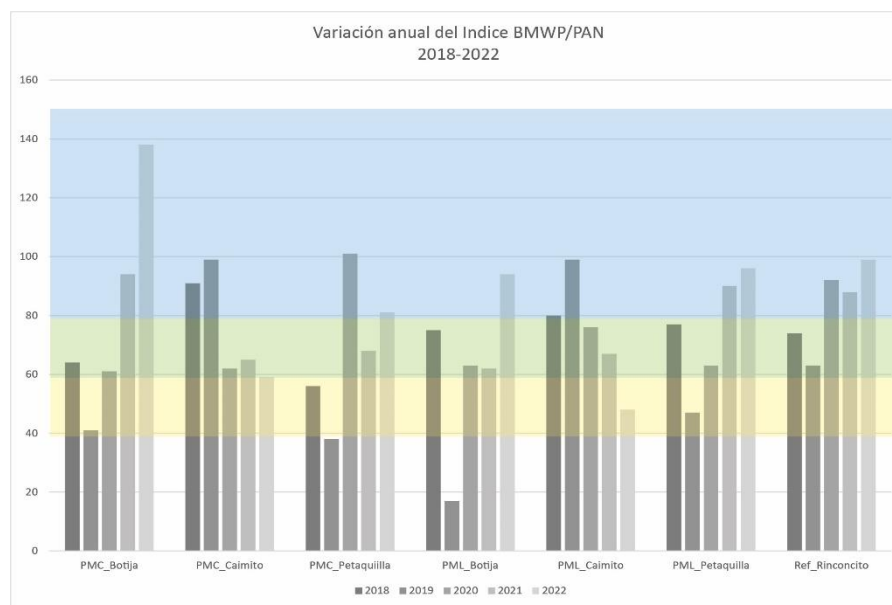
Un análisis comparativo de este índice a partir de datos de 2018 al 2022 (Figura 28), indica que el comportamiento ha sido variable en todos los sitios, sin embargo, es posible identificar algunas tendencias, por ejemplo, el sitio PMC Botija paso de registrar agua de calidad contaminada y regular durante los años 2018 a 2020 a un rango de calidad de agua buena durante los años 2021 y 2022, otros sitios que registraron cambios positivos han sido PMC Petaquilla, PML Petaquilla y Ref. Rinconcito.

Por otra parte, los tramos PML y PMC Caimito pasaron del rango de calidad biológica buena en 2018 y 2019 a agua regular para el periodo 2020-2021 y presenta para el año 2022 un índice de calidad de agua contaminada.



Índice de calidad biológica buena
Índice de calidad biológica regular

Figura 27. Índice BMWP/PAN estimado para los sitios de muestreo.



Índice de calidad biológica buena
Índice de calidad biológica regular
Índice de calidad biológica contaminada

Figura 28. Variación anual del índice BMWP por sitio de muestreo.

Estos cambios en la composición de las familias de macroinvertebrados acuático presentes en los cuerpos de agua pueden deberse a ciclos biológicos anuales, que normalmente se corresponden a variaciones en el régimen de lluvias, aporte de sedimentos o cambios de las actividades humanas en su cuenca.

No obstante, las diferencias aparentes entre los sitios, al comparar las puntuaciones multianuales de los datos mediante un ANOVA las varianzas se solapan indicando que no hay diferencias significativas en la variación del índice de BMWP (df= 6; F= 0.92; $p=0.49$) entre estaciones (Figura 29).

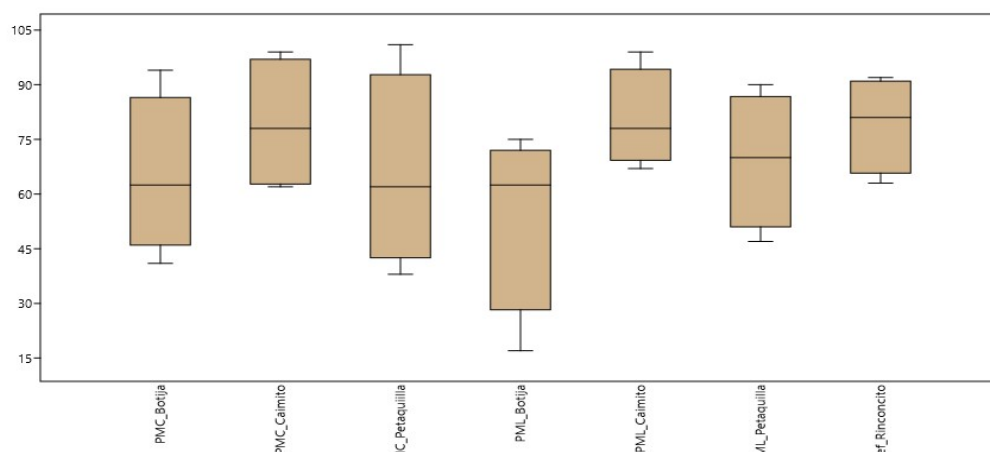


Figura 29. Gráfico de cajas mostrando la media y desviación estándar del índice BMWP-PAN por sitio muestreado.

Diversidad de peces

En junio de 2022 se colectaron 275 individuos correspondientes a 19 especies de peces de agua dulce. La curva de rarefacción de la muestra indica que no se alcanzó la asíntota, es decir, no fueron colectadas todas las especies que se esperan ocurran en los cuerpos de agua muestreados.

La mayor captura de especies se registró en el tramo PML Caimito (S=9), seguido del PMC-Botija (S=7), la menor riqueza se reporta en los tramos PMC-Petaquilla con solo 3 especies, además de PMC Caimito y PML Petaquilla con 5 especies cada uno.

Las colectas con mayor cantidad de individuos (n) fue registrada en el punto PMC-Botija (n=79) con dominancia de Characiformes como *Odontostilbe mitoptera*, *Astyanax panamensis* y *Brycon obscurus*, otra especie frecuente en este tramo fue *Sycidium altum* con 22 individuos.

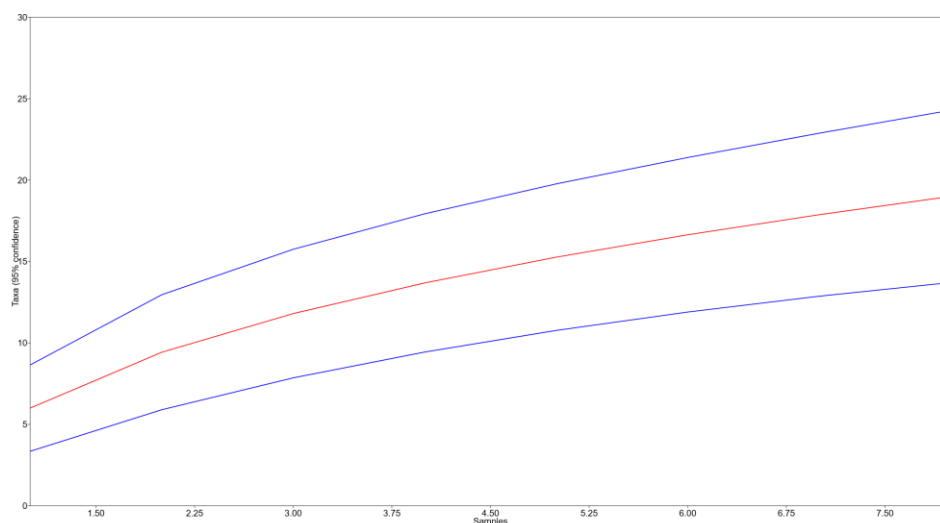


Figura 30. Curva de rarefacción obtenida para este muestreo de peces.

El índice de diversidad de Shannon (H') refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad⁵. En tal sentido los valores registrados implican baja riqueza en los tramos muestreados siendo el mayor valor el obtenido en PMC-Botija ($H' = 1.532$), seguido del tramo Ref. Hoja ($H' = 1.528$) y el menor en PMC Petaquilla ($H' = 1.04$).

Tabla 13. Índices de diversidad biológica de peces por sitio muestreado.

Índice	PMC-Botija	PMC-Caimito	PMC-Petaquilla	PML-Botija	PML-Caimito	PML-Petaquilla	Ref. Hoja	Ref. Rinconcito
Taxa_S	7	5	3	7	9	5	6	6
Individuals	79	11	4	28	77	24	17	35
Dominance_D	0.26	0.26	0.38	0.44	0.34	0.26	0.28	0.35
Simpson_1-D	0.74	0.74	0.63	0.56	0.66	0.74	0.72	0.65
Shannon_H	1.53	1.47	1.04	1.24	1.42	1.45	1.53	1.34
Evenness_e^H/S	0.66	0.87	0.94	0.49	0.46	0.85	0.77	0.64
Brillouin	1.41	1.08	0.62	1.00	1.28	1.21	1.18	1.14
Menhinick	0.79	1.51	1.50	1.32	1.03	1.02	1.46	1.01
Margalef	1.37	1.67	1.44	1.80	1.84	1.26	1.77	1.41
Equitability_J	0.79	0.91	0.95	0.64	0.65	0.90	0.85	0.75
Fisher_alpha	1.85	3.54	5.45	3.00	2.64	1.92	3.31	2.08
Berger-Parker	0.38	0.36	0.50	0.64	0.52	0.33	0.47	0.54
Chao-1	7	5.5	3.5	13	10	5	6	6

⁵ Pla, Laura (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. Interciencia 31 (8)

La similitud y constancia de estos bajos valores de diversidad medida mediante el índice de Shannon entre estaciones de referencia con las estaciones de efecto ambiental cercano y lejano indicaría que los sistemas son naturalmente pobres en ictiofauna.

En comparación con el muestreo anterior un cambio evidente en la diversidad de peces se presenta en el tramo PML-Botija que presenta, en esta ocasión, un índice de Shannon superior al registrado durante el muestreo del año 2021 (H' :0.28).

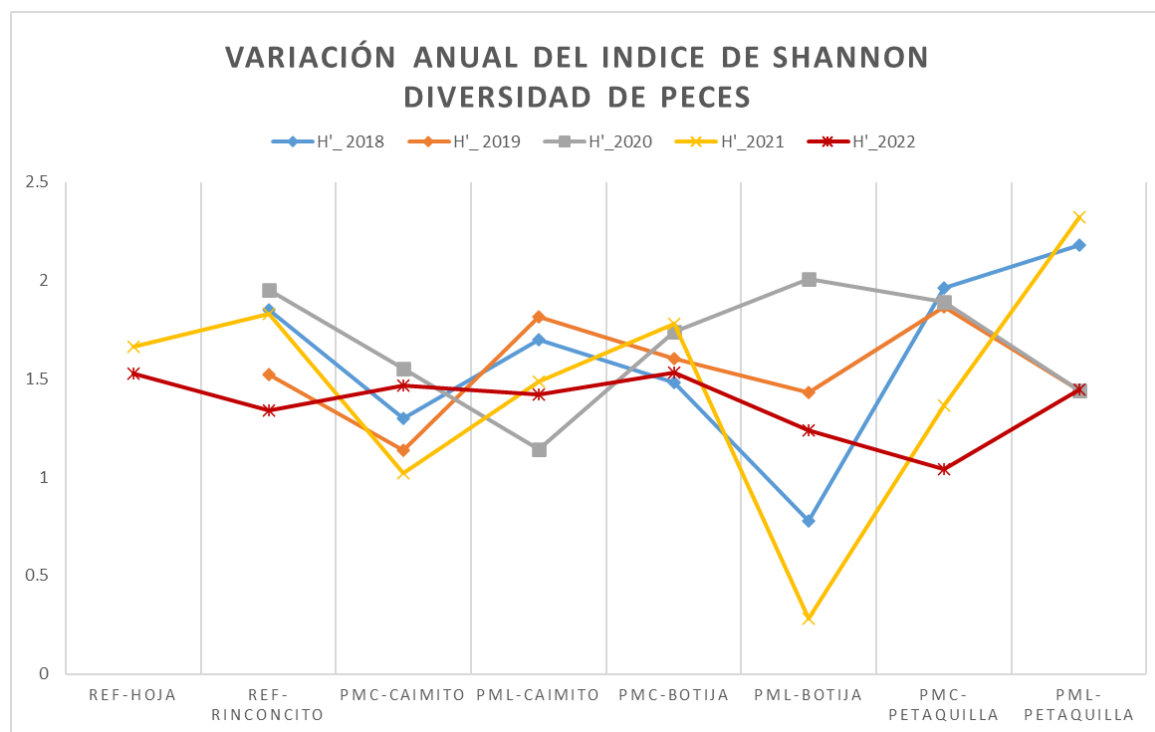


Figura 31. Gráfico líneas indicando la variación del Índice de diversidad de Shannon a través de tiempo para cada sitio muestreado.

El análisis de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis agrupa los tramos en función de su semejanza en la abundancia y cantidad de especies por sitio, este análisis identificó tres pares de sitios similares entre sí, pero todos con similitudes bajas, en ningún caso superior al 60%, no obstante estos bajos valores de similitud, el sitio PMC Petaquilla se presenta completamente diferente al resto, y los tramos PMC Caimito y PML Petaquilla presentan una similitud de 57%, la máxima registrada para este muestreo.

Debido a la relativamente baja riqueza reportada, el análisis PCA no recupera ningún conjunto de especies como componente principal que explique la varianza con un porcentaje superior al 50%, por lo que se concluye en este caso que no es posible separar los tramos que corresponden a los puntos de monitoreo lejano, puntos de monitoreo cercano y sitios de referencia en función de la diversidad de peces presentes en las muestras.

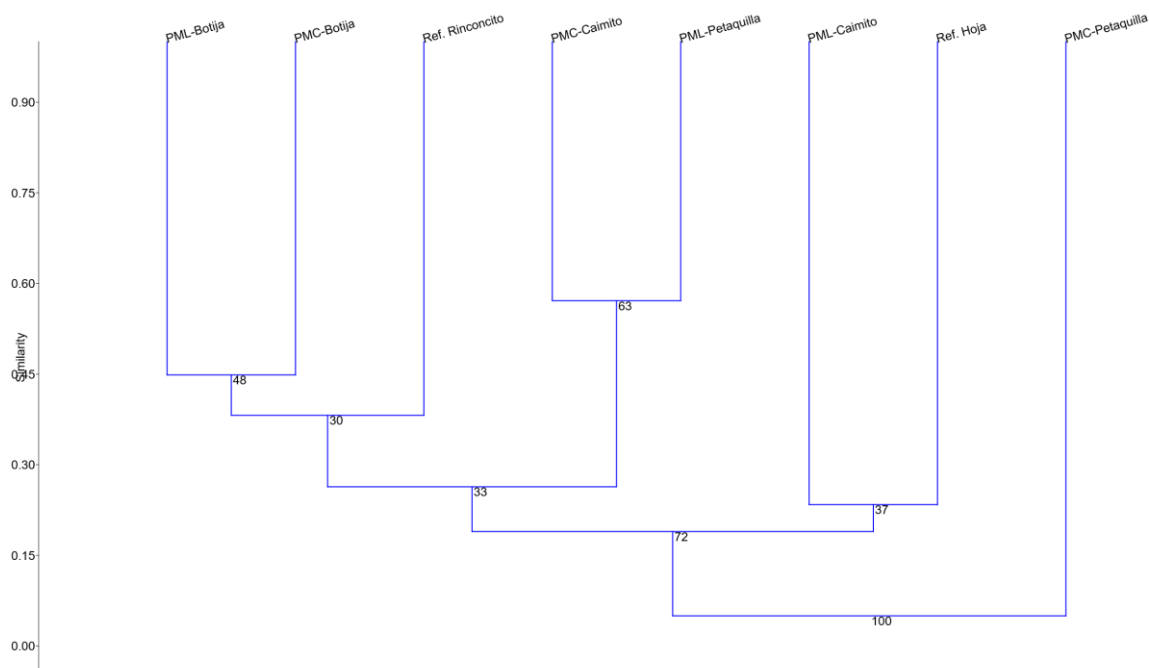


Figura 32. Árbol de agrupamiento por índice de similitud Bray Curtis para peces.

Metales en Músculo de peces

A pesar de muestrear todos los microhábitats presentes en cada tramo fue imposible capturar ejemplares de *Gobiomorus dormitor* en todos los sitios. Se colectó muestras para análisis de metales en músculo en las estaciones PMC y PML del río Caimito y el sistema de referencia Hoja.

El patrón de distribución no es permanente para cada especie. Los patrones de distribución pueden cambiar estacionalmente, en respuesta a la disponibilidad de recursos y también según la escala del muestreo, de manera que, aunque la especie esté presente en el cuerpo de agua, es imposible garantizar su captura dentro del tramo de estudio, aunque se apliquen los métodos adecuados

El análisis de PCA para metales en las muestras de músculo de las muestras de *Gobiomorus dormitor* indica que los principales elementos que explican las diferencias entre muestras de músculo fueron: mercurio, selenio, níquel, cromo, arsénico y cadmio que son responsables del 90% de la varianza entre las muestras y conforman los componentes principales 1 y 2.

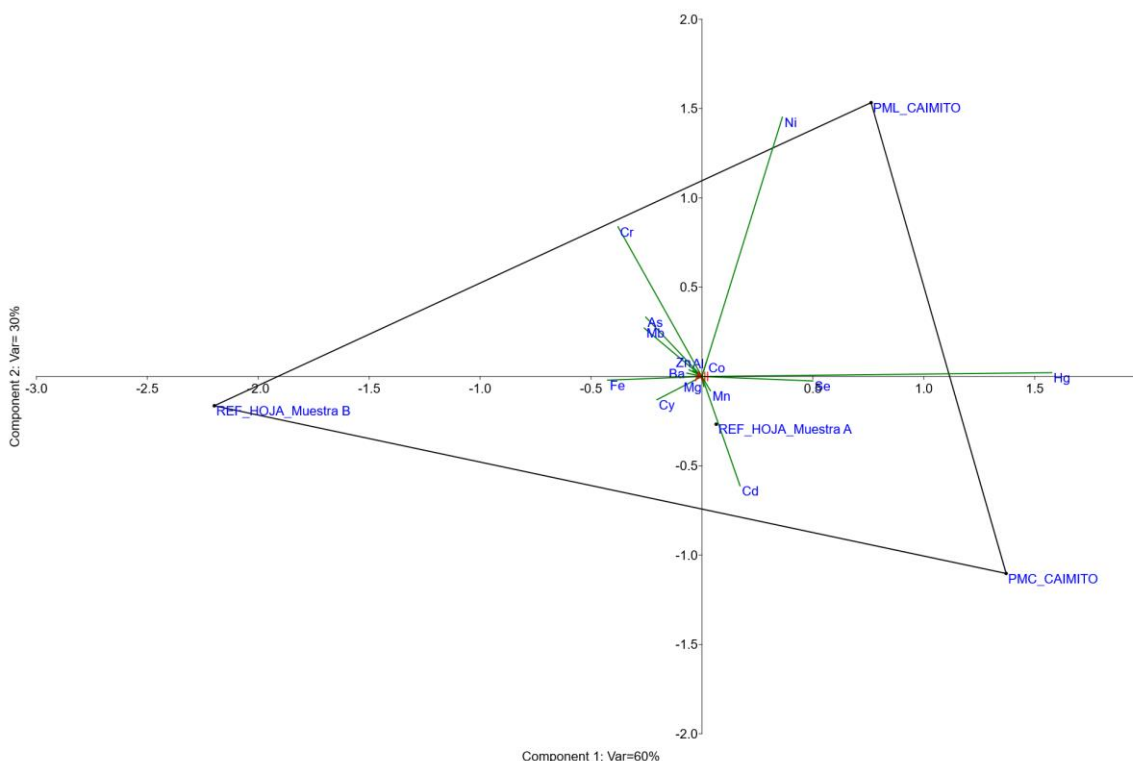


Figura 33. Gráfica del PCA indicando los elementos que explican las diferencias entre las muestras de músculo de Gobiomorus dormitor.

Tabla 14. Concentraciones expresadas en mg/kg de los principales elementos encontrados en muestras de músculo de Gobiomorus dormitor.

Muestra	Al	As	Ba	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mg	Mn	Hg	Mb	Ni	Se	Zn
PMC_CAIMITO	65.63	8.52	249.91	1.7	4.94	0.85	0.05	21.48	438.8	2.38	1.02	0.85	0.01	10.22	235.8
PML_CAIMITO	69.19	33.54	258.1	0.19	6.1	0.57	1.14	22.87	345.6	1.52	0.38	3.43	0.76	4.95	255.2
REF_HOJA_A	46.01	28.8	182.47	0.52	4.39	0.52	0.35	14.75	315.8	0.87	0.17	9.13	0.01	1.05	165.8
REF_HOJA_B	78.49	40.56	332.07	0.377	4.9	1.69	0.75	126.41	385.7	1.69	0.001	4.34	0.01	0.94	305.5

El componente principal 1 explica el 60% de la diferencia entre las muestras, está conformado por los elementos mercurio, selenio y níquel, siendo mercurio el elemento con mayor peso en la gráfica explicando la posición de PMC Caimito y PML Caimito en el lado derecho de la gráfica (Figura 33).

El componente principal 2 está compuesto por los elementos níquel y cromo en mayor medida y explica el 30% de las diferencias.

El análisis de clúster aplicando el algoritmo UPGMA y el índice de similitud Bray Curtis, aplicado a las concentraciones de metales en músculo agrupa a las muestras procedentes de PMC y PML Caimito y la muestra A de Ref. Hoja. La muestra de músculo B, procedente de Ref. Hoja queda separada de las otras tres, pero con un índice de similaridad superior a 0.60.

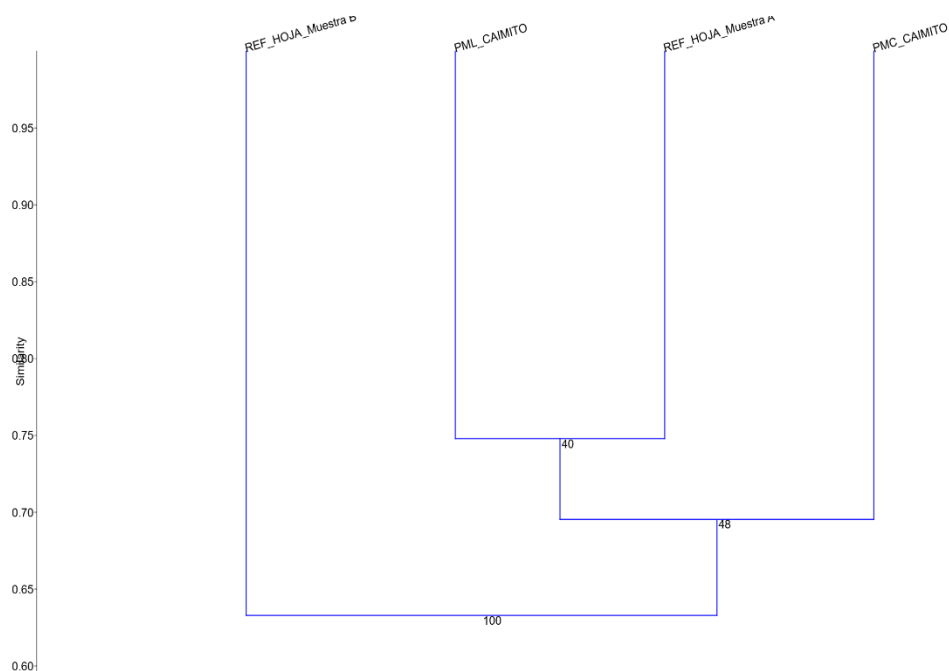


Figura 34. Diagrama de agrupamiento de los tramos muestreados en función de la composición de elementos presentes en la muestra de músculo de *Gobiomorus dormitor*

Conclusiones

Como se estableció al inicio del documento los sistemas que hacen parte del programa de monitoreo anual reciben de manera natural y recurrente la escorrentía de sedimentos con carga naturales de metales dada su historia y condiciones geológicas particulares, y por ende una fauna adaptada a esas condiciones fluctuantes. Los Índices de calidad de hábitat fluvial (IHF) y calidad biológica del agua (BMWP/PAN) así como los indicadores de biodiversidad para peces, macroinvertebrados y algas perifíticas en 8 sitios ubicados en un gradiente de distancias con respecto al Proyecto Mina de Cobre Panamá indican que las estaciones están en el rango de óptimo a subóptimo.

Los resultados de la estimación del índice BMWP/PAN para los sitios muestreados indican que el sitio PMC Botija obtuvo el mejor puntaje asociado a una calidad biológica de agua buena, en el mismo rango de calidad estuvieron los sitios PML Petaquilla, PML Petaquilla, PMC Petaquilla, PML Botija y Ref. Rinconcito

La comparación temporal de las medias del índice de calidad biológica BMWP-PAN mediante un análisis de ANOVA indica que estaciones de referencia y con influencia del Proyecto Mina de Cobre Panamá están en condiciones significativamente

similares, sin embargo, es posible identificar una tendencia incipiente de disminución del índice BMWP en los sitios PMC y PML Caimito.

La diversidad de peces, medida por el índice de Shannon parece estabilizarse, particularmente en el tramo PMC Botija que se ha recuperado respecto al año 2021, sin embargo, el tramo PMC Petaquilla presenta índices de diversidad inferiores a los resultados de años anteriores.

La interpretación de los resultados de metales disueltos en agua refleja que el calcio y manganeso son elementos presentes principalmente en los sitios PMC y PML Caimito, el resto de los elementos químicos no presentan concentraciones que permitan diferenciar los sitios de referencia de los tratamientos.

El análisis de calidad de agua también recupera a PMC y PML Caimito como diferentes del resto en función de la conductividad eléctrica, dureza de carbonatos, total de sólidos disueltos y concentración de compuestos nitrogenados.

A pesar de las diferencias en la concentración de metales y parámetros físico-químicos presentes en las muestras de agua, con la excepción de los sitios PMC Caimito y PML Caimito, no es posible establecer diferencias importantes en las comunidades de peces, macroinvertebrados y perifiton en el resto de los tratamientos PMC y PML, pero sí entre estos y los sitios de referencia.

Anexos

- Registro de géneros algas perifíticas
- Registro de peces
- Registro de macroinvertebrados

Tabla 15. Registro de especies de microalgas asociadas a perifiton.

Registro de especies de microalgas asociadas a perifiton (Conteo en ind/ml)										
ORDEN	FAMILIA	GÉNERO/Morfoespecie	Ref-Hoja	Ref-Rinconcito	PML-Petaquilla	PMC-Petaquilla	PMC-Caimito	PML-Caimito	PML-Botija	PMC-Botija
Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp</i>	18	55	2	64	7	11	19	139
Naviculales	Naviculaceae	<i>Gyrosigma sp</i>	0	0	2	0	3	0	1	0
Naviculales	Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp</i>	26	96	4	12	3	12	9	7
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp</i>	1	4	0	30	121	7	1	20
Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria sp</i>	28	23	49	3	12	13	12	28
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp1</i>	0	8	1	14	3	4	6	8
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp2</i>	0	4	0	0	0	4	0	0
Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp1</i>	11	8	38	3	9	10	13	23
Mastogloiales	Achnanthaceae	<i>Achnanthes sp</i>	0	17	0	1	0	4	0	9
Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Encyonema sp</i>	5	1	8	22	1	6	6	13
Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella sp</i>	13	3	1	2	0	2	0	5
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella sp</i>	3	11	0	0	0	0	0	0
Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Hantzschia sp</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis sp</i>	0	2	1	0	0	0	1	0
Naviculales	Stauroneidaceae	<i>Craticula sp</i>	0	2	0	0	0	2	4	0
Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia sp</i>	4	3	2	4	8	9	2	12
Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra sp</i>	0	0	0	11	0	4	0	0
Desmidiiales	Desmidiaceae	<i>Staurastrum sp</i>	0	0	0	0	0	0	2	0
Oedogoniales	Oedogoniaceae	<i>Oedogonium sp</i>	0	0	0	1	0	0	0	0

Tabla 16. Registro de especies de peces por sitio de muestreo.

Registro de especies de peces por sitio de muestreo (individuos)								
	PMC-Botija	PMC-Caimito	PMC-Petaquilla	PML-Botija	PML-Caimito	PML-Petaquilla	Ref. Hoja	Ref. Rinconcito
<i>Anchoa sp.</i>	0	0	0	0	5	0	0	0
<i>Ancistrus chagresi</i>	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Anguila rostrata</i>	0	0	1	0	0	0	2	0
<i>Arcos nudus</i>	0	0	0	1	1	0	2	0
<i>Astyanax panamensis</i>	11	0	0	0	0	0	0	0
<i>Brachyrhaphis cascajalensis</i>	0	3	0	0	0	4	0	2
<i>Brycon obscurus</i>	10	1	0	3	0	2	2	19
<i>Bryconamericus emperador</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Dajaus monticola</i>	3	4	0	3	40	8	2	3
<i>Eugerres brasiliensis</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Gobiomorus dormitor</i>	0	1	0	0	19	0	8	1
<i>Hyphessobrycon panamensis</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Joturus pichardi</i>	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Odontostilbe mitoptera</i>	30	0	0	0	0	0	0	0
<i>Poecilia mexicana</i>	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Pomadasys croco</i>	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Rhamdia quelen</i>	0	0	0	0	2	0	0	3
<i>Sycidium altum</i>	22	2	0	18	6	2	0	7
<i>Trichomycterus striatus</i>	0	0	2	1	1	8	0	0

Tabla 17. Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos por sitio.

Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos (Cantidad de individuos por tramo)										
Orden	Familia	Género	PMC_Botija	PMC_Caimito	PMC_Petaquilla	PML_Botija	PML_Caimito	PML_Petaquilla	Ref_Hoja	Ref_Rinconcito
Coleoptera	Dryopidae	Pelonomus	2	0	0	0	0	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	Austrelmis	0	0	0	0	0	0	0	2
Coleoptera	Elmidae	Cylloepus	9	0	5	21	0	11	0	0
Coleoptera	Elmidae	Heterelmis	7	1	2	27	0	19	0	3
Coleoptera	Elmidae	Hexacylloepus	0	0	5	0	0	10	1	0
Coleoptera	Elmidae	Luchoelmis	0	0	0	2	0	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	Macrelmis	8	0	4	15	2	1	0	0
Coleoptera	Elmidae	Microcylloepus	14	4	3	30	2	0	1	2
Coleoptera	Elmidae	Neocylloepus	0	0	0	0	0	8	0	0
Coleoptera	Elmidae	Neoelmis	3	0	1	0	0	11	0	0
Coleoptera	Elmidae	Phanocerus	2	0	0	1	0	0	0	5
Coleoptera	Elmidae	Stenelmis	1	0	0	0	0	0	0	0
Coleoptera	Elmidae	Xenelmis	9	1	15	28	0	3	2	0
Coleoptera	Gyrinidae	Gyrinus	0	0	1	0	0	0	0	0
Coleoptera	Psephenidae	Psephenus	42	0	17	32	0	14	3	0
Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	3	0	1	0	0	0	0	5
Coleoptera	Ptilodactylidae	Anchytarsus	0	0	1	0	0	1	0	0
Decapoda	Atyidae	Atyia	0	0	0	1	56	0	0	2
Decapoda	Palaemonidae	Atyia	0	1	0	0	216	0	0	0
Decapoda	Palaemonidae	Macrobrachium	0	0	1	0	34	3	11	5
Decapoda	Pseudothelphusidae	Pseudothelphusa	1	0	0	0	0	0	0	0
Diptera	Ceratopogonidae	Bezzia	0	0	0	0	0	0	1	0
Diptera	Chironomidae	Chironominae	39	5	4	1	10	16	2	11
Diptera	Chironomidae	Orthocladiinae	2	0	0	2	0	0	0	3
Diptera	Chironomidae	Podonominae	0	0	0	0	0	2	0	0

Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos (Cantidad de individuos por tramo)										
Diptera	Chironomidae	Tanypodinae	11	0	2	4	0	11	1	2
Diptera	Simuliidae	Simulium	8	0	12	5	0	0	1	3
Diptera	Tipulidae	Hexatoma	0	0	1	1	0	0	2	0
Diptera	Tipulidae	Limnophila	0	0	0	0	0	0	1	0
Diptera	Tipulidae	Tipula	5	0	0	1	0	0	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Americabaetis	14	0	2	2	0	6	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	50	3	12	11	8	2	6	3
Ephemeroptera	Baetidae	Baetodes	26	0	13	4	0	3	2	24
Ephemeroptera	Baetidae	Camelobaetidius	45	0	9	38	4	3	32	0
Ephemeroptera	Baetidae	Cloeodes	9	0	3	6	1	3	4	0
Ephemeroptera	Baetidae	Fallceon	1	0	3	0	3	0	1	0
Ephemeroptera	Baetidae	Guajiroilus	2	18	2	0	1	3	1	3
Ephemeroptera	Baetidae	Hydrosmilodon	0	0	0	0	0	0	5	0
Ephemeroptera	Baetidae	Mayobaetis	11	0	0	2	4	2	1	0
Ephemeroptera	Baetidae	Moribaetis	26	0	0	1	0	0	1	0
Ephemeroptera	Baetidae	Paracloeodes	2	0	0	0	0	6	0	0
Ephemeroptera	Baetidae	Varipes	6	0	0	2	1	13	1	1
Ephemeroptera	Caenidae	Caenis	1	4	1	0	0	1	0	1
Ephemeroptera	Chironomidae	Chironominae	0	0	0	5	0	0	0	0
Ephemeroptera	Chironomidae	Tanypodinae	0	0	0	6	0	0	0	0
Ephemeroptera	Coenagrionidae	Argia	0	0	0	0	0	6	0	0
Ephemeroptera	Gomphidae	Perigomphus	0	0	0	0	0	1	0	0
Ephemeroptera	Heptageniidae	Maccaffartium	3	0	0	0	0	0	0	1
Ephemeroptera	Heteragrionidae	Heteragrion	0	0	0	0	0	6	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Americabaetis	4	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Asioplax	8	0	1	4	0	2	4	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Cabecar	8	0	0	0	0	0	2	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Cloeodes	1	0	0	0	0	0	0	0

Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos (Cantidad de individuos por tramo)										
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Epiphrades	0	0	0	1	1	0	13	2
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Haplohyphes	6	0	1	1	0	10	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Leptohyphes	208	1	44	46	3	7	5	9
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Mayobaetis	7	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Traverhyphes	0	0	3	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Tricorythodes	135	34	3	24	10	52	12	3
Ephemeroptera	Leptohyphidae	vacupernius	0	0	0	2	0	3	2	0
Ephemeroptera	Leptohyphidae	Xenelmis	0	0	0	1	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Asioplax	0	0	0	0	1	0	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Cloroterpes	3	0	0	0	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Farrodes	91	5	3	6	7	6	3	60
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Hagenulopsis	0	0	0	3	0	3	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Hydrosmilodon	2	0	0	8	0	0	0	0
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Terpides	45	0	2	3	0	6	1	2
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Thraulodes	118	177	78	146	31	39	19	15
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	Traverella	0	0	0	4	1	0	6	0
Ephemeroptera	Platystictidae	Palaenema	0	0	0	0	0	1	0	0
Gastropoda	Ampullariidae	Ampullariidae	0	1	0	0	0	0	0	0
Gastropoda	Lymnaeidae	Lymnaeidae	0	0	0	0	0	2	0	0
Gastropoda	Neritidae	Nerita	0	0	0	0	2	0	1	0
Gastropoda	Thiaridae	Thiaridae	0	19	0	0	0	5	0	0
Hemiptera	Gerridae	Limnogonus	0	0	0	0	1	0	0	0
Hemiptera	Gerridae	Metrobates	0	0	0	0	2	0	0	0
Hemiptera	Naucoridae	Ambrysus	0	2	0	0	0	0	0	0
Hemiptera	Naucoridae	Cryphocricus	2	0	1	1	0	3	0	0
Hemiptera	Veliidae	Rhagovelia	2	0	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	Crambidae	Petrophila	0	3	1	0	2	3	3	1
Megaloptera	Corydalidae	Corydalus	3	0	2	3	2	0	0	0

Registro de géneros de macroinvertebrados acuáticos (Cantidad de individuos por tramo)										
Odonata	Calopterygidae	Hetaerina	8	0	0	0	0	0	0	0
Odonata	Coenagrionidae	Argia	53	2	0	3	0	1	0	0
Odonata	Gomphidae	Perigomphus	11	0	0	6	0	4	1	5
Odonata	Heteragrionidae	Heteragrion	16	0	1	1	0	1	0	3
Odonata	Libellulidae	Libellula	10	0	0	0	0	0	0	2
Odonata	Platystictidae	Palaenema	6	2	0	1	0	3	1	1
Odonata	Polythoridae	Cora	1	0	0	1	0	1	0	3
Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	5	0	3	12	0	0	0	13
Triclarida	Planariidae	Planariidae	1	1	0	0	1	0	0	0
Tricoptera	Glossosomatidae	Protoptila	4	0	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	Hydropsychidae	Leptonema	49	107	8	4	14	3	25	75
Tricoptera	Hydropsychidae	Macronema	0	0	0	0	0	1	0	0
Tricoptera	Hydropsychidae	Smicridea	5	0	0	0	0	0	0	2
Tricoptera	Hydroptilidae	Flintiella	1	0	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	Hydroptilidae	Hydroptilia	5	31	0	0	37	45	45	7
Tricoptera	Hydroptilidae	Leptonema	0	0	1	0	0	0	0	0
Tricoptera	Hydroptilidae	Leucotrichia	0	0	0	0	0	0	1	0
Tricoptera	Hydroptilidae	Oxyethira	0	0	13	0	0	78	0	0
Tricoptera	Leptoceridae	Atanotica	0	0	3	1	0	0	1	0
Tricoptera	Leptoceridae	Oecetis	1	0	0	1	0	0	0	0
Tricoptera	Philopotamidae	Chimarra	211	0	0	49	0	0	0	1
Tricoptera	Philopotamidae	Philopotamidae sp1	1	0	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	Philopotamidae	Wormaldia	137	0	3	34	1	1	0	16
Tricoptera	Planariidae	Planariidae	2	0	0	0	0	0	0	0
Tricoptera	Polycentropodidae	Polycentropus	9	0	0	1	0	3	0	1